

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-321805

(43) 公開日 平成 8 年 (1996) 12 月 3 日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 B 10/02			H 0 4 B 9/00	M
10/18				

審査請求 未請求 請求項の数135 O L (全 52 頁)

(21) 出願番号 特願平7-181929

(22) 出願日 平成 7 年 (1995) 7 月 18 日

(31) 優先権主張番号 特願平6-181013

(32) 優先日 平 6 (1994) 8 月 2 日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平7-59295

(32) 優先日 平 7 (1995) 3 月 17 日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番
1 号

(72) 発明者 石川 丈二

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(72) 発明者 西本 央

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 石田 敬 (外 3 名)

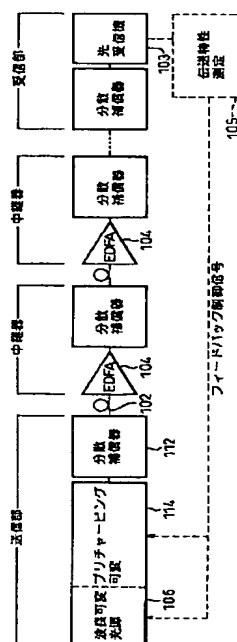
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光伝送システム、光多重伝送システム及びその周辺技術

(57) 【要約】

【課題】 大容量伝送を可能にするために伝送条件の最適化の技術を提供し、大容量伝送を可能にするための光多重化の実用化のための周辺技術を提供する。

【解決手段】 伝送特性測定部 105 において伝送特性を測定し、それが最良になるように波長可変光源 106 における信号光波長の制御、プリチャーピング量の制御 (114)、分散補償量の制御、及び/又は光パワーの制御を行なう。分散補償器 112 で強制的に波長分散を与えることにより非線形効果を軽減する。波長可変レーザを配置することにより光増幅中継区間ごとに信号光波長を最適化する。光多重化の実現のために、ドリフト補償、クロック抽出、光信号チャンネルの認識、クロック位相の安定化等の周辺技術が提供される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光信号を生成する光送信部と、
該光送信部が生成した光信号を伝送する光伝送路と、
該光伝送路により伝送された光信号を認識する光受信部と、
該光信号の特性値及び該光伝送路の特性値の少なくとも
いずれか一方を調節することによって、該光信号の特性
を該光伝送路の特性に適合させるに適した特性調節手段
とを具備する光伝送システム。

【請求項 2】 前記特性調節手段は、前記光信号の特性
値として光源の波長を調節することによって前記光信号
の波長を調節する波長可変光源を含む請求項 1 記載の光
伝送システム。

【請求項 3】 前記特性調節手段は、前記光伝送路の終
点に設けられ、前記光伝送路の特性値として通過波長を
光信号の波長に応じて調節することが可能な波長可変フ
ィルタを含む請求項 2 記載の光伝送システム。

【請求項 4】 前記光伝送路は、複数の光ファイバと、
該光ファイバの間に設けられ光ファイバ中を伝送される
光信号を増幅する光増幅器を具備し、
前記特性調節手段は、該光増幅器の出力側に設けられ前
記光伝送路の特性値として通過波長を光信号の波長に合
わせて調節することが可能な第 2 の波長可変フィルタを
含む請求項 2 又は 3 記載の光伝送システム。

【請求項 5】 前記光伝送路は光ファイバを含み、
前記特性調節手段は、該光伝送路に設けられ前記光伝
送路の特性値としてその波長分散特性値を調節すること
によって該光ファイバの波長分散特性を補償する分散可
変補償器を含む請求項 1～4 のいずれか 1 項記載の光伝
送システム。

【請求項 6】 前記光伝送路は前記光ファイバの間に設
けられ光ファイバ中を伝送される光信号を増幅する光増
幅器を含み、
前記光信号の波長は、該光増幅器が発生する自然放出光
と該光信号との間の四光波混合を抑制できる程度に該光
ファイバの零分散波長から離れた値である請求項 5 記載
の光伝送システム。

【請求項 7】 前記特性調節手段は、前記光信号の特性
値として前記光送信部が生成する光信号に与えるプリチ
ャーピング量を調節する可変チャージング手段を含む請
求項 1～5 のいずれか 1 項記載の光伝送システム。

【請求項 8】 前記光伝送路は光ファイバを含み、
前記特性調節手段は、前記光信号の特性値として該光フ
ァイバへ入射する光信号のパワーを調節する手段を含む
請求項 1, 2, 3, 4, 5 又は 7 記載の光伝送システ
ム。

【請求項 9】 前記光受信部において認識される光信号
の品質を評価することによって伝送特性を測定する伝送
特性測定手段をさらに含み、

前記特性調節手段において、該伝送特性測定手段が測定

する伝送特性が最良になるように前記光信号の特性値及
び前記光伝送路の特性値の少なくともいずれか一方が調
節される請求項 1～8 のいずれか 1 項記載の光伝送シス
テム。

【請求項 10】 前記光信号の特性値及び前記光伝送路
の特性値の少なくともいずれか一方を所定の範囲で掃引
することによって最良の特性値を自動的に見出すこと
を可能にする特性値掃引手段をさらに具備する請求項 9
記載の光伝送システム。

10 【請求項 11】 前記伝送特性測定手段は、光信号にお
ける符号誤り率を評価することにより品質を評価する請
求項 9 記載の光伝送システム。

【請求項 12】 前記伝送特性測定手段は光信号のアイ
パターンの開きを評価することによって品質を評価する
請求項 9 記載の光伝送システム。

【請求項 13】 前記伝送特性測定手段は、光信号の Q
値を測定することにより品質を評価する請求項 9 記載の
光伝送システム。

20 【請求項 14】 前記伝送特性測定手段は、光信号中の
パリティビットをチェックすることにより品質を評価す
る請求項 9 記載の光伝送システム。

【請求項 15】 複数の光信号を光多重化して前記光伝
送路へ供給する光多重化部と、
該光伝送路を伝送された多重化光信号を光分散する光分
散部とをさらに具備する請求項 1～14 のいずれか 1 項
記載の光伝送システム。

30 【請求項 16】 前記光伝送路は現用回線及び予備回線
を含み、
前記特性値掃引手段は、該予備回線について特性値の掃
引を行なう請求項 10～15 のいずれか 1 項記載の光伝
送システム。

【請求項 17】 光伝送路の温度変化に応じて前記特性
調節手段に前記光信号の特性値及び前記光伝送路の特性
値の少なくともいずれか一方を調節せしめるために光伝
送路の温度を評価する温度評価手段をさらに具備する請
求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 18】 前記温度評価手段は前記光伝送路の複
数点において温度を評価する請求項 17 記載の光伝送シ
ステム。

40 【請求項 19】 前記温度評価手段は、前記光伝送路の
温度を直接測定する温度センサを含む請求項 17 又は 1
8 記載の光伝送システム。

【請求項 20】 前記温度評価手段は、前記光伝送路の
付近の温度を測定することにより該光伝送路の温度を評
価する請求項 17 又は 18 記載の光伝送システム。

【請求項 21】 前記温度評価手段は端局又は中継局に
おいて温度を測定することにより前記光伝送路の温度を
評価する請求項 17 又は 18 記載の光伝送システム。

50 【請求項 22】 前記特性調節手段は、前記光信号の特
性値として光源の波長を調節することによって前記光信

号の波長を調節する波長可変光源を含む請求項17～21のいずれか1項記載の光伝送システム。

【請求項23】 前記光伝送路は光ファイバを含み、前記特性調節手段は、該光伝送路に設けられ前記光伝送路の特性値としてその波長分散特性値を調節することによって該光ファイバの波長分散特性を補償する分散可変補償器を含む請求項17～22のいずれか1項記載の光伝送システム。

【請求項24】 前記特性調節手段は、前記光信号の特性値として前記光送信部が生成する光信号に与えるプリチャージング量を調節する可変チャージング手段を含む請求項17～23のいずれか1項記載の光伝送システム。

【請求項25】 前記光伝送路は光ファイバを含み、前記特性調節手段は、前記光信号の特性値として該光ファイバへ入射する光信号のパワーを調節する手段を含む請求項17～24のいずれか1項記載の光伝送システム。

【請求項26】 前記温度評価手段による光伝送路の温度の評価値に基いて前記特性調節手段を自動的に調節する自動調節手段をさらに具備する請求項17～25のいずれか1項記載の光伝送システム。

【請求項27】 光信号を生成する光送信部と、該光送信部が生成した光信号を伝送する光伝送路と、該光伝送路により伝送された光信号を認識する光受信部と、該光伝送路内を伝送される光信号の強度の変化を滑らかにすることによって非線形効果を低減する手段とを具備する光伝送システム。

【請求項28】 前記非線形効果低減手段は、非線形効果を低減するに十分な波長分散を前記光信号に付与する手段を含み、該波長分散付与手段により生じた波長分散を補償する手段をさらに具備する請求項27記載の光伝送システム。

【請求項29】 前記波長分散付与手段は、光信号に対して非線形効果を低減するに十分な波長分散を付与し得る程に信号光波長から離れた零分散波長を有する光ファイバを含み、

前記波長分散補償手段は分散補償器を含む請求項28記載の光伝送システム。

【請求項30】 前記光ファイバは前記光信号の波長において負の分散値を呈する請求項29記載の光伝送システム。

【請求項31】 前記光ファイバは前記光信号の波長において正の分散値を呈する請求項29記載の光伝送システム。

【請求項32】 前記波長分散付与手段は、光信号に対して非線形効果を低減するに十分な波長分散を付与する分散補償器を含み、

前記波長分散補償手段は該分散補償器が付与する波長分

散を補償する分散値を有する光ファイバを含む請求項28記載の光伝送システム。

【請求項33】 前記波長分散付与手段は、光信号に対して非線形効果を低減するに十分な波長分散を付与する第1の分散補償器を含み、

前記波長分散補償手段は該第1の分散補償器が有する分散値の符号と逆の符号の分散値を有する第2の分散補償器を含む請求項28記載の光伝送システム。

【請求項34】 前記第1の分散補償器は光信号に対して正の分散値を有する請求項33記載の光伝送システム。

【請求項35】 前記第1の分散補償器は光信号に対して負の分散値を有する請求項33記載の光伝送システム。

【請求項36】 前記光信号の特性値を調節することによって前記光受信部において認識される光信号の品質を最適にする光信号特性調節手段をさらに具備する請求項28記載の光伝送システム。

【請求項37】 前記光信号特性調節手段は、前記光信号の特性値として光源の波長を調節することによって前記光信号の波長を調節する波長可変光源を含む請求項36記載の光伝送システム。

【請求項38】 前記光信号特性調節手段は、前記光信号の特性値として前記光送信部が生成する光信号に与えるプリチャージング量を調節する可変チャージング手段を含む請求項36記載の光伝送システム。

【請求項39】 前記光伝送路は光ファイバを含み、前記光信号特性調節手段は、前記光信号の特性値として該光ファイバへ入射する光信号のパワーを調節する手段を含む請求項36記載の光伝送システム。

【請求項40】 前記光受信部において認識される光信号の品質を評価することによって伝送特性を測定する伝送特性測定手段をさらに含み、

前記光信号特性調節手段において、該伝送特性測定手段が測定する伝送特性が最良になるように前記光信号の特性値が調節される請求項36～39のいずれか1項記載の光伝送システム。

【請求項41】 前記光信号の特性値を所定の範囲で掃引することによって最良の特性値を自動的に見出すことを可能にする特性値掃引手段をさらに具備する請求項40記載の光伝送システム。

【請求項42】 前記伝送特性測定手段は、光信号における符号誤り率を評価することにより品質を評価する請求項40記載の光伝送システム。

【請求項43】 前記伝送特性測定手段は光信号のアイパターンの開きを評価することによって品質を評価する請求項40記載の光伝送システム。

【請求項44】 前記伝送特性測定手段は、光信号のQ値を測定することにより品質を評価する請求項40記載の光伝送システム。

【請求項 4 5】 前記伝送特性測定手段は、光信号中のパリティビットをチェックすることにより品質を評価する請求項 4 0 記載の光伝送システム。

【請求項 4 6】 前記光伝送路は現用回線及び予備回線を含み、前記特性値掃引手段は、該予備回線について特性値の掃引を行なう請求項 4 0 ～ 4 5 のいずれか 1 項記載の光伝送システム。

【請求項 4 7】 光信号を生成する光送信部と、該光送信部が生成した光信号を伝送する光伝送路と、該光伝送路により伝送された光信号を認識する光受信部と、該光伝送路の途中に設けられ該光伝送路で伝送される光信号を増幅する光増幅中継器と、該光増幅中継器で光増幅される光信号の波長を変換する波長変換器とを具備する光伝送システム。

【請求項 4 8】 前記光送信部は光源の波長を調節することによって前記光信号の波長を調節する波長可変光源を含む請求項 4 7 記載の光伝送システム。

【請求項 4 9】 前記光受信部において認識される光信号の品質を評価することによって伝送特性を測定する伝送特性測定手段をさらに含み、波長変換器及び波長可変光源において該伝送特性測定手段が測定する伝送特性が最良になるように出力光の波長が調節される請求項 4 8 記載の光伝送システム。

【請求項 5 0】 波長変換器及び波長可変光源における出力光の波長を所定の範囲で掃引することによって最良の波長を自動的に見出すことを可能にする波長掃引手段をさらに具備する請求項 4 9 記載の光伝送システム。

【請求項 5 1】 前記伝送特性測定手段は、光信号における符号誤り率を評価することにより品質を評価する請求項 4 9 記載の光伝送システム。

【請求項 5 2】 前記伝送特性測定手段は光信号のアイパターンの開きを評価することによって品質を評価する請求項 4 9 記載の光伝送システム。

【請求項 5 3】 前記伝送特性測定手段は、光信号の Q 値を測定することにより品質を評価する請求項 4 9 記載の光伝送システム。

【請求項 5 4】 前記伝送特性測定手段は、光信号中のパリティビットをチェックすることにより品質を評価する請求項 4 9 記載の光伝送システム。

【請求項 5 5】 前記光伝送路は現用回線及び予備回線を含み、前記波長掃引手段は、該予備回線について波長の掃引を行なう請求項 5 0 ～ 5 5 のいずれか 1 項記載の光伝送システム。

【請求項 5 6】 複数の光変調器においてベースバンド信号によりそれぞれ変調された複数の光信号を多重化する光多重化システムの光変調器のためのドリフト補償回路であって、

該複数の光変調器へ供給されるベースバンド信号を低周波信号でそれぞれ振幅変調する複数の駆動回路と、該複数の光信号を多重化した光多重化信号の一部を分岐する光分岐器と、

該光分岐器により分岐された光多重化信号の一部を電気信号に変換する光検出器と、該光検出器の出力に含まれる低周波信号成分を該複数の駆動回路のそれぞれにおいて使用された低周波信号で位相検波することによって、それぞれの光変調器のドリフト補償のためのバイアス信号を生成する制御手段とを具備するドリフト補償回路。

【請求項 5 7】 前記複数の光信号は同一の波長において時分割多重される請求項 5 6 記載のドリフト補償回路。

【請求項 5 8】 前記複数の駆動回路において使用される低周波信号は相異なる周波数を有し、前記制御手段は、前記光検出器の出力を該複数の駆動回路において使用された低周波信号で位相検波することによってそれぞれの光変調器のためのバイアス信号を生成する複数の位相検出・バイアス供給回路とを含む請求項 5 7 記載のドリフト補償回路。

【請求項 5 9】 前記制御手段は、低周波信号を前記複数の駆動回路へ時分割で与えるための第 1 の切替スイッチと、前記光検出器の出力を該低周波信号で位相検波することによって光変調器のドリフト補償のためのバイアス信号を生成する位相検出・バイアス供給回路と、該第 1 の切替スイッチと連動して動作することによって、該位相検出・バイアス供給回路が生成するバイアス信号をそれぞれの光変調器へ分配する第 2 の切替スイッチとを含む請求項 5 7 記載のドリフト補償回路。

【請求項 6 0】 前記複数の光変調器は並列に接続される請求項 5 8 又は 5 9 記載のドリフト補償回路。

【請求項 6 1】 前記複数の光変調器は直列に接続される請求項 5 8 又は 5 9 記載のドリフト補償回路。

【請求項 6 2】 前記複数の光信号は異なる波長において波長多重される請求項 5 6 記載のドリフト補償回路。

【請求項 6 3】 前記複数の駆動回路において使用される低周波信号は相異なる周波数を有し、前記制御手段は、前記光検出器の出力を該複数の駆動回路において使用された低周波信号でそれぞれ位相検波することによってそれぞれの光変調器のためのバイアス信号を生成する複数の位相検出・バイアス供給回路とを含む請求項 6 2 記載のドリフト補償回路。

【請求項 6 4】 前記制御手段は、低周波信号を前記複数の駆動回路へ時分割で与えるための第 1 の切替スイッチと、

前記光検出器の出力を該低周波信号で位相検波すること

によって光変調器のドリフト補償のためのバイアス信号を生成する位相検出・バイアス供給回路と、

該第1の切替スイッチと連動して動作することによって、該位相検出・バイアス供給回路が生成するバイアス信号をそれぞれの光変調器へ分配する第2の切替スイッチとを含む請求項6記載のドリフト補償回路。

【請求項65】 前記光検出器は複数の光検出器を含み、

前記制御手段は、

前記光分岐器が分岐した光多重化信号の一部を各波長毎に分散して該複数の光検出器のそれぞれ供給する波長分散素子と、

該光検出器のそれぞれから出力される低周波成分を前記駆動回路において使用された低周波信号で位相検波することによって、それぞれの光変調器のためのバイアス信号を生成する複数の位相検出・バイアス供給回路とを含む請求項62記載のドリフト補償回路。

【請求項66】 前記制御手段は、

それぞれの光変調器の出力に含まれる低周波成分を前記駆動回路において使用された低周波信号で位相検波することによってそれぞれの光変調器のためのバイアス光信号を生成する複数の位相検出・バイアス供給回路と、

前記光分岐器と前記光検出器の間に設けられ、通過波長が時分割で切り換えられる光波長可変フィルタと、

該光波長可変フィルタにおける通過波長の切り換えと連動して動作することによって前記光検出器の出力をそれぞれの光変調器の出力に含まれる低周波成分として該位相検出・バイアス供給回路のそれぞれに分配する切替スイッチとを含む請求項62記載のドリフト補償回路。

【請求項67】 前記光変調回路の動作点を切り替えるための符号反転回路をさらに具備する請求項56～66のいずれか1項記載のドリフト補償回路。

【請求項68】 複数の光信号を時分割多重する光時分割多重手段と、

該光時分割多重手段によって生成された光多重化信号を伝送する光伝送路と、

該光伝送路によって伝送された光多重化信号から前記多重化前の光信号のクロックを直接抽出するクロック抽出手段と、

該クロック抽出手段へ供給される光多重化光信号における各光信号の振幅に差を付与することによって該クロック抽出手段によるクロックの抽出を可能にする振幅差付与手段とを具備する光伝送システム。

【請求項69】 前記振幅差付与手段は、前記複数の光信号のそれぞれのための光源であって光出力パワーが異なる複数の光源を含む請求項68記載の光伝送システム。

【請求項70】 前記振幅差付与手段は、前記光時分割多重手段によって多重化される前の光信号の少なくとも1つを減衰させる光減衰器を含む請求項68記載の光伝

送システム。

【請求項71】 前記振幅差付与手段は、前記光時分割多重手段によって多重化される前の光信号の少なくとも1つを増幅する光増幅器を含む請求項68記載の光伝送システム。

【請求項72】 前記振幅差付与手段は、前記複数の光信号を生成する光変調器であって、駆動信号の振幅に差が付与された複数の光変調器を含む請求項68記載の光伝送システム。

【請求項73】 前記振幅差付与手段は、前記複数の光信号を生成する光変調器であって、駆動信号のバイアス電圧に差が付与された複数の光変調器を含む請求項68記載の光伝送システム。

【請求項74】 前記振幅差付与手段は、光源からの光を異なる分岐比で分岐する光スイッチを含む請求項68記載の光伝送システム。

【請求項75】 前記振幅差付与手段は、前記複数の光信号を生成する光変調器であって、偏波の主軸が異なる複数の光変調器と、

光多重化信号が通過する偏波依存光学素子とを含む請求項68記載の光伝送システム。

【請求項76】 前記偏波依存光学素子は前記光伝送路の送信側に設けられる請求項75記載の光伝送システム。

【請求項77】 前記偏波依存光学素子は前記光伝送路の受信側に設けられる請求項75記載の光伝送システム。

【請求項78】 複数の光信号と時分割多重する光時分割多重手段と、

受信側において光多重化信号から多重化前の光信号のクロックを直接抽出することを可能にするため、該光多重化信号における各光信号の振幅に差と付与する振幅差付与手段とを具備する光送信機。

【請求項79】 前記振幅差付与手段は、前記複数の光信号のそれぞれのための光源であって光出力パワーが異なる複数の光源を含む請求項78記載の光送信機。

【請求項80】 前記振幅差付与手段は、前記光時分割多重手段によって多重化される前の光信号の少なくとも1つを減衰させる光減衰器を含む請求項78記載の光送信機。

【請求項81】 前記振幅差付与手段は、前記光時分割多重手段によって多重化される前の光信号の少なくとも1つを増幅する光増幅器を含む請求項78記載の光送信機。

【請求項82】 前記振幅差付与手段は、前記複数の光信号を生成する光変調器であって、駆動信号の振幅に差が付与された複数の光変調器を含む請求項78記載の光送信機。

【請求項83】 前記振幅差付与手段は、前記複数の光信号を生成する光変調器であって、駆動信号のバイアス

電圧に差が付与された複数の光変調器を含む請求項78記載の光送信機。

【請求項84】 前記振幅差付与手段は、光源からの光を異なる分散比で分岐する光スイッチを含む請求項78記載の光送信機。

【請求項85】 前記振幅差付与手段は、前記複数の光信号を生成する光変調器であって、偏波の主軸が異なる複数の光変調器と、光多重化信号が通過する偏波依存光学素子とを含む請求項78記載の光送信機。

【請求項86】 複数の光信号チャンネルを時分割多重する光時分割多重手段と、

該光時分割多重手段によって生成される光多重化信号に各光信号チャンネルを識別するための識別情報を付与する手段と、

該光信号チャンネルに含まれる識別情報を抽出する識別情報抽出回路と、

該識別情報抽出回路が抽出した識別情報に従って、各光信号チャンネルが所定の出力先に出力されるように出力先を変更する制御回路とを具備する光伝送システム。

【請求項87】 前記光多重化信号から各光信号チャンネルのクロックを再生するクロック再生回路と、

該クロック再生回路によって再生されたクロックに従って、該光多重化信号から各光信号チャンネルを分離する光スイッチとをさらに具備する請求項86記載の光伝送システム。

【請求項88】 前記識別情報付与手段は、前記光信号が伝送するデータ信号に識別データを付加し、

前記識別情報抽出回路は、各光信号チャンネルから再生されるデータ信号に含まれる識別データを抽出する請求項87記載の光伝送システム。

【請求項89】 前記制御回路は、各光信号チャンネルの出力と出力先との接続を変更することによって出力先を変更する請求項88記載の光伝送システム。

【請求項90】 前記制御回路は、前記光スイッチへ供給されるクロックの位相を変更することによって出力先を変更する請求項88記載の光伝送システム。

【請求項91】 前記制御回路は、前記光スイッチへ入力される光多重化信号を遅延又は前進させることによって出力先を変更する請求項88記載の光伝送システム。

【請求項92】 前記識別情報付与手段は、特定の光信号チャンネルのタイムスロットにおいて前記光多重化信号に低周波信号を重量し、

前記識別情報抽出回路は、該光多重化信号に重量された低周波信号を検出することによって識別情報を抽出する請求項87記載の光伝送システム。

【請求項93】 前記識別情報抽出回路は、前記光スイッチによって分離された光信号チャンネルを電気信号に変換したものから前記低周波信号を検出する請求項92記載の光伝送システム。

【請求項94】 前記識別情報抽出回路は、前記光スイッチによって分離された光信号チャンネルを電気信号に変換するための光／電気変換素子へ流れる電流から前記低周波信号を検出する請求項92記載の光伝送システム。

【請求項95】 前記光スイッチの出力と出力先との間に設けられた信号交換回路をさらに具備し、

前記制御回路は、該信号交換回路における光スイッチの出力と出力先との接続関係を変更することによって出力先を変更する請求項92～94のいずれか1項記載の光伝送システム。

【請求項96】 前記制御回路は、前記光スイッチへ供給されるクロックの位相を変更することによって出力先を変更する請求項92～94のいずれか1項記載の光伝送システム。

【請求項97】 前記制御回路は、前記光スイッチへ入力される光多重化信号を遅延又は前進させることによって出力先を変更する請求項92～94のいずれか1項記載の光伝送システム。

【請求項98】 光信号チャンネルに含まれる識別情報を抽出する識別情報抽出回路と、

該識別情報抽出回路が抽出した識別情報に従って、各光信号チャンネルが所定の出力先に出力されるように出力先を変更する制御回路とを具備する光受信機。

【請求項99】 光多重化信号から各光信号チャンネルのクロックを再生するクロック再生回路と、

該クロック再生回路によって再生されたクロックに従って、該光多重化信号から各光信号チャンネルを分離する光スイッチと、をさらに具備する請求項98記載の光受信機。

【請求項100】 前記識別情報付与は前記光信号が伝送するデータ信号に識別データとして付加されたものであり、

前記識別情報抽出回路は、各光信号チャンネルから再生されるデータ信号に含まれる識別データを抽出する請求項99記載の光受信機。

【請求項101】 前記光スイッチの出力と出力先との間に設けられた信号交換回路をさらに具備し、

前記制御回路は、該信号交換回路における光スイッチの出力と出力先との接続関係を変更することによって出力先を変更する請求項100記載の光受信機。

【請求項102】 前記制御回路は、前記光スイッチへ供給されるクロックの位相を変更することによって出力先を変更する請求項100記載の光受信機。

【請求項103】 前記制御回路は、前記光スイッチへ入力される光多重化信号を遅延又は前進させることによって出力先を変更する請求項100記載の光受信機。

【請求項104】 前記識別情報は、特定の光信号チャンネルのタイムスロットにおいて前記光多重化信号に低周波信号を重量したものであり、

前記識別情報抽出回路は、該光多重化信号に重量された低周波信号を検出することによって識別情報を抽出する請求項9記載の光受信機。

【請求項105】 前記識別情報抽出回路は、前記光スイッチによって分離された光信号チャンネルを電気信号に変換したものから前記低周波信号を検出する請求項104記載の光受信機。

【請求項106】 前記識別情報抽出回路は、前記光スイッチによって分離された光信号チャンネルを電気信号に変換するための光／電気変換素子へ流れる電流から前記低周波信号を検出する請求項104記載の光受信機。

【請求項107】 前記光スイッチの出力と出力先との間に設けられた信号交換回路をさらに具備し、前記制御回路は、該信号交換回路における光スイッチの出力と出力先との接続関係を変更することによって出力先を変更する請求項104～106のいずれか1項記載の光受信機。

【請求項108】 前記制御回路は、前記光スイッチへ供給されるクロックの位相を変更することによって出力先を変更する請求項104～106のいずれか1項記載の光受信機。

【請求項109】 前記制御回路は、前記光スイッチへ入力される光多重化信号を遅延又は前進させることによって出力先を変更する請求項104～106のいずれか1項記載の光受信機。

【請求項110】 光多重化信号から各光信号チャンネルのクロックを再生するクロック再生回路と、該クロック再生回路によって再生されたクロックに従って、該光多重化信号から各光信号チャンネルを分離する光スイッチと、該光スイッチによって分離された光信号チャンネルに含まれる識別情報を抽出する識別情報抽出回路と、該識別情報抽出回路が抽出した識別情報に従って、各光信号チャンネルが所定の出力先に出力されるように出力先を変更する制御回路とを具備する光分離器。

【請求項111】 前記識別情報付与は前記光信号が表現するデータ信号に識別データとして付加されたものであり、前記識別情報抽出回路は、各光信号チャンネルから再生されるデータ信号に含まれる識別データを抽出する請求項110記載の光分離器。

【請求項112】 前記光スイッチの出力と出力先との間に設けられた信号交換回路をさらに具備し、前記制御回路は、該信号交換回路における光スイッチの出力と出力先との接続関係を変更することによって出力先を変更する請求項111記載の光分離器。

【請求項113】 前記制御回路は、前記光スイッチへ供給されるクロックの位相を変更することによって出力先を変更する請求項111記載の光分離器。

【請求項114】 前記制御回路は、前記光スイッチへ

入力される光多重化信号を遅延又は前進させることによって出力先を変更する請求項111記載の光分離器。

【請求項115】 前記識別情報は、特定の光信号チャンネルのタイムスロットにおいて前記光多重化信号に低周波信号を重量したものであり、前記識別情報抽出回路は、該光多重化信号に重量された低周波信号を検出することによって識別情報を抽出する請求項110記載の光分離器。

【請求項116】 前記識別情報抽出回路は、前記光スイッチによって分離された光信号チャンネルを電気信号に変換したものから前記低周波信号を検出する請求項115記載の光分離器。

【請求項117】 前記識別情報抽出回路は、前記光スイッチによって分離された光信号チャンネルを電気信号に変換するための光／電気変換素子へ流れる電流から前記低周波信号を検出する請求項115記載の光分離器。

【請求項118】 前記光スイッチの出力と出力先との間に設けられた信号交換回路をさらに具備し、前記制御回路は、該信号交換回路における光スイッチの出力と出力先との接続関係を変更することによって出力先を変更する請求項115～117のいずれか1項記載の光分離器。

【請求項119】 前記制御回路は、前記光スイッチへ供給されるクロックの位相を変更することによって出力先を変更する請求項115～117のいずれか1項記載の光分離器。

【請求項120】 前記制御回路は、前記光スイッチへ入力される光多重化信号を遅延又は前進させることによって出力先を変更する請求項115～117のいずれか1項記載の光分離器。

【請求項121】 複数の光信号チャンネルを時分割多重する光時分割多重手段と、該光時分割多重手段によって生成される光多重化光信号に各光信号チャンネルを識別するための識別情報を付与する手段とを具備する光送信機。

【請求項122】 前記識別情報付与手段は、特定の光信号チャンネルのタイムスロットにおいて前記光多重化信号に低周波信号を重量する請求項121記載の光送信機。

【請求項123】 前記識別情報付与手段は、前記特定の光信号チャンネルを生成するための光変調器に直列に接続され変調信号として前記低周波信号が供給される第2の光変調器を含む請求項122記載の光送信機。

【請求項124】 前記識別情報付与手段は、前記特定の光信号チャンネルのための変調信号に前記低周波信号を重量して該光信号チャンネルを生成するための光変調器へ変調信号として供給する駆動回路を含む請求項122記載の光送信機。

【請求項125】 複数の光信号が時分割多重され、かつ、特定の光信号のタイムスロットにおいて低周波信号

が重畳された光時分割多重信号を受信するための光受信機であって、

該光時分割多重信号を各光信号に分散する光スイッチと、

該光スイッチを制御するためのクロックを生成するクロック生成手段と、

前記光時分割多重信号に重畳された低周波信号を利用して該クロック生成手段が生成するクロックの位相を該光時分割多重信号に同期するように制御するクロック位相制御手段とを具備する光受信機。

【請求項126】 前記クロック生成手段は、受信された光時分割多重信号からクロック成分を抽出することによってクロックを生成するタイミング再生部を含み、

前記クロック位相制御手段は、

位相制御信号に従って該タイミング再生部が出力するクロックの位相を変更する位相可変回路と、

前記低周波信号を利用して、該クロックが該光時分割多重信号に同期するように該位相可変回路を制御する位相制御信号を生成する位相制御部を含む請求項125記載の光受信機。

【請求項127】 前記位相制御部は、

前記光スイッチで分散された光信号の1つを電気信号に変換する受光素子と、

所定の周波数の信号を出力する発振器と、

該発振器の出力で該受光素子の出力を位相検波する同期検波回路と、

該同期検波回路の出力を所定の閾値と比較する比較器と、

該比較器の比較結果を該発振器の出力に加算して前記位相制御信号として出力する加算器とを含む請求項126記載の光受信機。

【請求項128】 前記位相制御部は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項127記載の光受信機。

【請求項129】 前記比較器は制御信号に従って比較結果を反転して出力する請求項127記載の光受信機。

【請求項130】 前記タイミング再生部は、

抽出したクロック成分のレベルを検出するレベル検出器と、

該レベル検出器の出力を所定の基準値と比較し、基準値以下であるときアラーム信号を出力する比較器を含む請求項126～129のいずれか1項記載の光受信機。

【請求項131】 前記クロック生成手段は、制御電圧に応じた周波数のクロックを生成する電圧制御発振器を含み、

前記クロック位相制御手段は、前記低周波信号を利用して、該クロックが該光時分割多重信号に同期するように*

$$DB^2 P_{\text{in}} L^2 = \text{const.}$$

D：分散値 (ps/nm/km)

* 該電圧制御発振器を制御する制御電圧を生成する位相制御部を含む請求項125記載の光受信機。

【請求項132】 前記位相制御部は、

前記光スイッチで分離された光信号の1つを電気信号に変換する受光素子と、

所定の周波数の信号を出力する発振器と、

該発振器の出力で該受光素子の出力を位相比較する同期検波回路と、

該同期検波回路の出力を所定の閾値と比較する比較器と、

該比較器の比較結果を該発振器の出力に加算して前記制御電圧として出力する加算器とを含む請求項131記載の光受信機。

【請求項133】 前記位相制御部は、前記受光素子と前記同期検波回路の間に設けられ、前記低周波信号成分のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに具備する請求項132記載の光受信機。

【請求項134】 前記比較器は制御信号に従って比較結果を反転して出力する請求項132記載の光受信機。

【請求項135】 前記光時分割多重信号に重畳された前記低周波成分を検出する低周波信号検出回路と、

該低周波信号検出回路の検出レベルと所定の基準値とを比較し、基準値以下であるときアラーム信号を出力する比較器をさらに具備する請求項131～134のいずれか1項記載の光受信機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光伝送システム及びその関連技術、特に、大容量伝送のために伝送条件が最適化された伝送路を有する光伝送システム、及び大容量の伝送を可能にするための光時分割多重 (Optical Time Division Multiplexing: OTDM) 等の光多重技術が採用された光伝送システムとその実現のための関連技術に関する。

【0002】

【従来の技術】 伝送速度の増加にともない、光ファイバの群速度分散 (Group-velocity dispersion: GVD) による波形劣化のために、伝送距離が厳しく制限される。さらに、伝送速度が増加すると送受レベル差を確保するために、送信光パワーを増加させる必要がある。そうすると、ファイバ非線形効果である自己位相変調 (Self-phase modulation: SPM) 効果の影響が大きくなり、群速度分散との相互作用 (SPM-GVD効果) のために、波形劣化がより複雑になる。

【0003】 このSPM-GVD効果による波形劣化が支配的な場合、ほぼ次式のようなスケール則が成立する。

(1)

50 B：伝送速度 (Gb/s)

P_{av} : 伝送路中での平均光パワー (mW)

L : 伝送距離 (km)

const. : 所要ペナルティにより決定される。

例えば、伝送速度 B が 10 Gb/s から 40 Gb/s へ 4 倍になると、伝送路中での平均光パワー P_{av} を 4 倍にする必要がある。したがって、同じ伝送距離 L を確保するには、信号光波長における分散値 D を $1/64$ に設定しなければならない。

【0004】そこで、信号光の分散値をできるだけ小さくするため、ファイバの零分散波長 λ_0 をファイバの伝送損失が最小となる $1.55\mu\text{m}$ 帯にシフトさせた分散シフトファイバ (dispersion shifted fiber: DSF) を使用し、 $1.55\mu\text{m}$ 帯で伝送することが現在進められている。なお、零分散波長 λ_0 とは、波長の微小変化に対する伝送遅延時間の変化量である波長分散 D (ps/nm/km) が負の値 (正常分散) から正の値 (異常分散) に転ずる点の波長であり、この波長 λ_0 の近傍において波長分散の絶対値は最小になるので波長分散による波形歪みが最小となる。

【0005】しかしながら、DSF 伝送路の零分散波長 λ_0 は、線引き工程におけるファイバコア径の微小変動により、長さ方向の変動は避けられない。さらに伝送路ケーブルは数 km のセグメントの多芯ケーブルが繋ぎ合わされており、隣接セグメント間の λ_0 は連続性がなく、ランダムに分布している。また、環境温度等の変化による経時変化によっても λ_0 は変化する。

【0006】したがって従来では、 λ_0 の分布及び経時変化を考慮して、その最悪値が始点から終点まで続いたとしても所定の伝送品質を満足し得るように設計する最悪設計が採用されていた。このため伝送路のコストの上昇は避けられず、これが大容量化の障害となっていた。一方、光信号の変調及び復調等の信号処理にあつては、通常これらの信号処理は電気信号の段階で実施され、光信号の変調を行うための電気信号を高速化することによって、光伝送システムの高速化を図ることが主流であった。しかし最近においては、電子デバイスによる電気信号レベルでの高速化が難しいことが問題となってきた。Si, GaAs, HBT, HEMT 等を用いた、 $10\sim 40\text{ Gb/s}$ での光通信デバイスの研究開発が行われているが、現状で実用レベルにあるのは、 $10\sim 20\text{ Gb/s}$ までと言われている。

【0007】このため、光伝送システムの伝送速度を、電子デバイスの動作速度以上に高速化するには、光領域での多重技術が有効である。一つには波長軸での多重による方法 (Wavelength Division Multiplexing: WDM)、また一つには時間軸での多重による方法 (Optical Time Division Multiplexing: OTDM) が考えられるが、いずれの方法においても実用化のためにその周辺技術の開発が必要である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】したがって本発明の第 1 の目的は、大容量伝送を可能にするために伝送条件の最適化の技術を提供することにある。本発明の第 2 の目的は、大容量伝送を可能にするための光多重化の実用化のための周辺技術を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、光信号を生成する光送信部と、該光送信部が生成した光信号を伝送する光伝送路と、該光伝送路により伝送された光信号を認識する光受信部と、該光信号の特性値及び該光伝送路の特性値の少なくともいずれか一方を調節することによって、該光信号の特性を該光伝送路の特性に適合させるに適した特性調節手段とを具備する光伝送システムが提供される。

【0010】本発明によれば、光信号を生成する光送信部と、該光送信部が生成した光信号を伝送する光伝送路と、該光伝送路により伝送された光信号を認識する光受信部と、該光伝送路内を伝送される光信号の強度の変化を滑らかにすることによって非線形効果を低減する手段とを具備する光伝送システムもまた提供される。本発明によれば、光信号を生成する光送信部と、該光送信部が生成した光信号を伝送する光伝送路と、該光伝送路により伝送された光信号を認識する光受信部と、該光伝送路の途中に設けられ該光伝送路で伝送される光信号を光増幅する光増幅中継器と、該光増幅中継器で光増幅される光信号の波長を変換する波長変換器とを具備する光伝送システムもまた提供される。

【0011】本発明によれば、複数の光変調器においてベースバンド信号によりそれぞれ変調された複数の光信号を多重化する光多重化システムの光変調器のためのドリフト補償回路であつて、該複数の光変調器へ供給されるベースバンド信号を低周波信号でそれぞれ振幅変調する複数の駆動回路と、該複数の光信号を多重化した光多重化信号の一部を分岐する光分岐器と、該光分岐器により分岐された光多重化信号の一部を電気信号に変換する光検出器と、該光検出器の出力に含まれる低周波信号成分を該複数の駆動回路のそれぞれにおいて使用された低周波信号で位相検波することによって、それぞれの光変調器のドリフト補償のためのバイアス信号を生成する制御手段とを具備するドリフト補償回路もまた提供される。

【0012】本発明によれば、複数の光信号を時分割多重する光時分割多重手段と、該光時分割多重手段によって生成された光多重化信号を伝送する光伝送路と、該光伝送路によって伝送された光多重化信号から前記多重化前の光信号のクロックを直接抽出するクロック抽出手段と、該クロック抽出手段へ供給される光多重化信号における各光信号の振幅に差を付与することによって該クロック抽出手段によるクロックの抽出を可能にする振幅差付与手段とを具備する光伝送システムもまた提供され

る。

【0013】本発明によれば、複数の光信号を時分割多重する光時分割多重手段と、受信側において光多重化信号から多重化前の光信号のクロックを直接抽出することを可能にするため、該光多重化信号における各光信号の振幅に差を付与する振幅差付与手段とを具備する光送信機もまた提供される。本発明によれば複数の光信号チャンネルを時分割多重する光時分割多重手段と、該光時分割多重手段によって生成される光多重化信号に各光信号チャンネルを識別するための識別情報を付与する手段と、該光信号チャンネルに含まれる識別情報を抽出する識別情報抽出回路と、該識別情報抽出回路が抽出した識別情報に従って、各光信号チャンネルが所定の出力先に出力されるように出力先を変更する制御回路とを具備する光伝送システムもまた提供される。

【0014】本発明によれば、光信号チャンネルに含まれる識別情報を抽出する識別情報抽出回路と、該識別情報抽出回路が抽出した識別情報に従って、各光信号チャンネルが所定の出力先に出力されるように出力先を変更する制御回路とを具備する光受信機もまた提供される。本発明によれば、光多重化信号から各光信号チャンネルのクロックを再生するクロック再生回路と、該クロック再生回路によって再生されたクロックに従って、該光多重化信号から各光信号チャンネルを分離する光スイッチと、該光スイッチによって分離された光信号チャンネルに含まれる識別情報を抽出する識別情報抽出回路と、該識別情報抽出回路が抽出した識別情報に従って、各光信号チャンネルが所定の出力先に出力されるように出力先を変更する制御回路とを具備する光分離器もまた提供される。

【0015】本発明によれば、複数の光信号チャンネルを時分割多重する光時分割多重手段と、該光時分割多重手段によって生成される光多重化信号に各光信号チャンネルを識別するための識別情報を付与する手段とを具備する光送信機もまた提供される。本発明によれば、複数の光信号が時分割多重され、かつ、特定の光信号のタイムスロットにおいて低周波信号が重畳された光時分割多重信号を受信するための光受信機であって、該光時分割多重信号を各光信号に分離する光スイッチと、該光スイッチを制御するためのクロックを生成するクロック生成手段と、前記光時分割多重信号に重畳された低周波信号を利用して該クロック生成手段が生成するクロックの位相を該光時分割多重信号に同期するように制御するクロック位相制御手段とを具備する光受信機もまた提供される。

【0016】

【発明の実施の形態】図1は本発明に係る光信号伝送システムの一例のブロック図である。図1において、11は光送信部、12は光受信部、13は光ファイバ、14は波長可変光源、15は波長可変フィルタ、16、17

は光増幅器又は光増幅器を有する光中継器、18は受光部、19は駆動回路である。

【0017】光送信部11の波長可変光源14としては、例えば、既に提案されている3電極型の波長可変半導体レーザや外部回折格子制御型の波長可変半導体レーザ等の各種構成の波長可変半導体レーザを用いることができる。図2は波長可変半導体レーザの説明図であり、3電極型の波長可変半導体レーザの概要を示す。図2に示した波長可変半導体レーザはInGaAsP/InPレーザ構成を有している。共通電極21と電極22との間に活性層25を含むレーザ発振領域27が形成され、共通電極21と電極23との間に波長微調領域28が形成され、共通電極21と電極24との間に回折格子26を含む波長粗調領域29が形成されている。電極23に加える電流 I_p と、電極24に加える電流 I_d とを調整して発光波長を変化させ、電極22に加える電流 I_a によって光出力を制御することができる。従って、駆動回路19から電流 I_a 、 I_p 、 I_d を制御することにより、発光波長を制御し、且つ伝送情報に従って変調した光信号を出力することができる。

【0018】波長可変光源14としては、上述のような光源を直接駆動する直接変調型のみでなく、光源からの光を外部変調器で変調する外部変調型とすることが可能である。又波長可変光源14からの光信号を光増幅器により増幅して光ファイバ13に送出する構成とすることも可能である。光増幅器16、17は、例えば、ErやNd等をドープした希土類ドープ光ファイバ増幅器を用いることができ、例えば、Erドープ光ファイバ増幅器は、1.5 μ m帯の光信号を、1.48 μ m又は0.98 μ mの励起光によって直接増幅することができる。

【0019】光受信部12は、例えば、光増幅器17と波長可変フィルタ15と受光部18とを備えている。光増幅器17及び波長可変フィルタ15を省略することも可能である。受光部18は、光信号を電気信号に変換する各種のフォトダイオードやフォトトランジスタ等により構成することができる。なお、受光部18により電気信号に変換し、等化处理を行ってレベル識別し、伝送情報を再生して受信処理する情報処理部については、既に知られた各種の構成が採用可能であり、図示を省略している。

【0020】又波長可変フィルタ15としては、既に知られた各種構成のフィルタを使用することができ、例えば、1994年電子情報通信学会春季大会の予稿集、B-1055「Siを用いたファブリ・ペロー型波長選択光フィルタの検討」の表題によって説明されているような温度制御による波長可変フィルタを用いることも可能である。又波長可変光源14の波長可変範囲全体をカバーしうる通過波長特性を有する固定波長特性のフィルタを使用することも可能である。

【0021】光送信部11と光受信部12との間の距離

が長距離でない場合は、光増幅器 16 を省略することも可能であり、その場合は光送信部 11 と光受信部 12 との間は光ファイバ 13 のみによって接続される。波長可変光源 14 は、光ファイバ 13 の長さ方向に沿った零分散波長の揺らぎが存在する場合、又は製造単位の長さの光ファイバを接続した時のスプライス区間（セグメント区間）毎の光ファイバ 13 の零分散波長のばらつきが存在する場合、例えば、光送信部 11 と光受信部 12 との間の全長にわたって、零分散波長の揺らぎ又はばらつきの平均値を求め、それを発光波長とするように調整される。なお、後述するように、伝送特性を最良にする信号光波長が必ずしも零分散波長であるとは限らない。

【0022】希土類ドープ光ファイバ増幅器により光信号を増幅して光ファイバに入力し、長距離伝送を行う場合に、信号光の波長が光ファイバの零分散波長の近傍で異常分散領域であると、信号光と自然放光との間で四光波混合（four-wave mixing：FWM）が生じ、変調不安定性により、自然放光が増幅され、S/N が劣化する。これを防止する為には、光ファイバ 13 の零分散波長の近傍を避け、且つ正常分散領域に発光波長を調整する。

【0023】長距離伝送システムの場合、光増幅器 16、17 を設ける場合が一般的である。この光増幅器 16、17 は光信号を増幅すると共に自然放光が発生するため、受光部 18 の前段にフィルタを設けることが望ましく、それが通過波長特性の調整が可能な波長可変フィルタ 15 であることがさらに望ましい。その場合には、光送信部 11 の波長可変光源 14 の発光波長を前述のように調整するとき、その発光波長に合わせて波長可変フィルタ 15 の通過波長特性を調整することにより、

伝送特性を更に改善することができる。

【0024】図 3 は本発明に係る光信号伝送システムの他の例のブロック図である。図 3 において、30 は中継器、31 は光送信部、32 は光受信部、33 は光ファイバ、34 は波長可変光源、35 は波長可変フィルタ、36、37 は光直接増幅器、38 は受光部、39 は駆動回路、40 は波長可変フィルタであり、図 1 に示す実施例と同一名称の部分は、同一の機能を備えている。

【0025】この例では、希土類ドープ光ファイバ増幅器のような光増幅器 36 と、波長可変フィルタ 40 とにより中継器 30 が構成される。波長可変フィルタ 40 は光受信部 32 の波長可変フィルタ 35 と共に、波長通過特性を調整することにより、光増幅器 36 から発生する自然放光等の光信号以外の光成分を中継器 30 毎に除去し、伝送特性を改善することができる。従って、更に長距離伝送が容易となる。なお、この波長可変フィルタ 40 としては、波長可変光源 34 の発光波長の変調範囲全体をカバーする通過波長特性を有する波長固定フィルタを使用することも可能である。又光増幅器 36 の後段に波長可変フィルタ 40 を設けた場合を図示している

が、本発明はこのような構成に限定されるものではない。

【0026】図 4 は本発明に係る光信号伝送システムのさらに他の例のブロック図である。図 4 において、41 は光送信部、42 は光受信部、43 は光ファイバ、44 は波長可変光源、45 は波長可変フィルタ、46、47 は光増幅器、48 は受光部、49 は駆動回路、50 は波長可変フィルタ、51 は中継器、52 は掃引制御部、53 は伝送特性測定部である。

【0027】この例は、図 3 に示す実施例に対して、伝送特性測定部 53 と掃引制御部 52 とを付加した場合に相当し、掃引制御部 52 によって駆動回路 49 を制御し、波長可変光源 44 の発光波長を掃引する。例えば、波長可変光源 44 が図 2 に示す波長可変半導体レーザの場合は、電流 I_p 、 I_d を変化させることになり、又他の構成の半導体レーザの場合に温度を順次変化させることにより、発光波長を掃引することができる。そして、この発光波長が掃引された光信号は、光ファイバ 43 と中継器 51 とを介して伝送され、光受信部 42 の受光部 48 により受光された結果を、伝送特性測定部 53 に加えて、光送信部 11 と光受信部 12 との間の伝送特性を測定する。その伝送特性の測定結果を基に、伝送特性が最良となるように、波長可変光源 44 の発光波長及び波長可変フィルタ 45、50 の波長通過特性が設定される。

【0028】この波長可変光源 44 及び波長可変フィルタ 45、50 を伝送特性測定部 53 側から自動的に調整する構成とした場合、掃引制御部 52 から駆動回路 49 を介して波長可変光源 44 の発光波長を掃引する掃引制御情報を点線で示すように伝送特性測定部 53 に伝送する。伝送特性測定部 53 は、その掃引制御情報に従って、点線で示すように波長可変フィルタ 45、50 の通過波長特性を制御する。伝送特性測定部 53 は掃引制御中の受光部 48 における伝送特性から伝送特性が最良となる発光波長を決定し、その値になるように、駆動回路 49 に制御情報を伝送すると共に、その発光波長に対応した通過波長特性となるように、波長可変フィルタ 45、50 に制御情報を加える。

【0029】従って、システム立上時に於いて、掃引制御部 52 を起動することによって、自動的に波長可変光源 44 の発光波長を、伝送特性が最良となるように設定することができる。又システム運用中に於いては、掃引制御部 52 が停止されるが、定期的或いは連続的に伝送特性測定部 53 により伝送特性を測定し、伝送特性が最良となるように、波長可変光源 44 の発光波長を調整し、且つ波長可変フィルタ 45、50 の波長通過特性を調整することも可能である。

【0030】伝送特性制御部 53 から各中継器 51 への波長通過特性を調整する制御情報及び駆動回路 49 に加える伝送特性の最良点の制御情報等の伝送或いは掃引制

御部 5 2 から伝送特性制御部 5 3 への掃引制御情報の伝送は、比較的低速の情報伝送で済むから、光送信部 1 1 と光受信部 1 2 との間に敷設した制御信号線等によって伝送することも可能であり、又双方向に光信号を伝送するシステムの場合は、光信号に副信号として重畳して伝送することも可能である。

【0031】伝送特性制御部 5 3 に於いて符号誤り率を測定することによって伝送特性を測定する場合、波長可変光源 4 4 の発光波長を掃引して各波長における符号誤り率を測定した結果が、例えば、図 5 に示す場合、許容誤り率を 10^{-11} とすると、例えば、その許容誤り率となる波長範囲のほぼ中心に波長可変光源 4 4 の発光波長を設定する。即ち、伝送特性の最良点として、駆動回路 4 9 を介して波長可変光源 4 4 の発光波長を設定し、且つ波長可変フィルタ 4 5、50 の波長通過特性を設定する。それによって、温度変化や経年変化等による光ファイバ 4 3 の特性変動等があっても、符号誤り率を許容値以下に維持することができる。

【0032】この符号誤り率の測定は、通常の伝送システムに於ける誤り率測定の手段を適用できる。光信号の伝送速度が例えば 10Gb/s 以上の高速であれば、許容誤り率が 10^{-11} より小さい値についても、短時間で各波長における誤り率を測定することができる。又パリティチェックビットを付加して伝送し、そのパリティチェックビットを用いて誤り率を測定することも可能である。

【0033】伝送特性測定部 5 3 に於いてアイパターンを用いて伝送特性を測定することもできる。例えば、図 6 はアイマスクパターンの説明図であり、太線で示すアイマスクパターンを閾値とすると、この太線のアイマスクパターンの外側に受信信号のアイパターンが形成されるように、即ち、アイパターンが予め定めた閾値を超えるように、波長可変光源 4 4 の発光波長を調整する。又伝送特性が良好であるとアイパターンが大きく開くから、このアイパターンの開きが最大となるように、波長可変光源 4 4 の発光波長を調整するようにしても良い。又この場合の調整手段としては、アイパターンを観測して手動制御によるか、或いはコンピュータ処理等による自動制御による手段を採用することができる。

【0034】符号誤り率の代わりに、Q 値 (=電気 SNR) を測定する方法もある。Q 値の定義を図 7 及び以下に示す。すなわち、

$$Q = 20 \log_{10} [(\mu_1 - \mu_0) / (\sigma_1 + \sigma_0)]$$

但し、 μ_1 : “発光” 時の平均レベル

μ_0 : “非発光” 時の平均レベル

σ_1 : “発光” 時のレベルの標準偏差

σ_0 : “非発光” 時のレベルの標準偏差

である。分子には発光と非発光の信号レベル差 (=信号振幅)、分母には発光および非発光の雑音の標準偏差の和を用いて Q 値を表現する。雑音の分布としてガウス分

布を仮定すると、上式で定義された Q 値が与える符号誤り率は、実測する符号誤り率の最小値と一致する。Q 値測定系は光受信機とほぼ同じ構成であり、リファレンス電圧可変機能を有する識別回路を用い、等化波形の識別レベルを、最適レベルから上下に変更して符号誤り率を測定し、その測定から得られた 2 本の直線の交点を求めることにより、符号誤り率の最小点を推定して、Q 値を求めることができる。さらに、伝送波形を測定し、等符号誤り率曲線の規格を使用する方法等も適用できる。

【0035】図 8 は本発明に係る光信号伝送システムの他の例のブロック図である。図 8 において、6 1 は光送信部、6 2 は光受信部、6 3 は光ファイバ、6 4 は波長可変光源、6 5 は光分岐部、6 6 a、6 6 b は外部変調器、6 7 a、6 7 b は駆動回路、6 8 は光多重化部、6 9、7 0 は光増幅器、7 1 は波長可変フィルタ、7 2 は光分岐部、7 3 a、7 3 b は受光部、7 4 は伝送特性測定部である。

【0036】波長可変光源 6 4 は、前述の各例と同様に、例えば、波長可変半導体レーザによって実現することができる。光分岐部 6 5 は、波長可変光源 6 4 の出力光を 2 分岐してそれぞれ外部変調器 6 6 a、6 6 b に加えるもので、更に多数に分岐してそれぞれ外部変調器に加える構成とすることも可能である。駆動回路 6 7 a、6 7 b にクロック信号 CLK a、CLK b 及び図示を省略した伝送情報に加え、クロック信号 CLK a、CLK b に同期した変調信号を外部変調器 6 6 a、6 6 b に加え、2 分岐された光を変調し、各変調光信号を光多重化部 6 8 に於いて多重化し、光増幅器 6 9 により増幅して光ファイバ 6 3 に送出する。外部変調器 6 6 a、6 6 b には、例えば、LiNbO₃ 基板を用いたマッハツェンダ型光変調器や半導体吸収型光変調器等を用いることができる。

【0037】光多重化部 6 8 に於ける光信号の多重化は、ビット多重、バイト多重、フレーム多重等の各種の多重化手段を適用でき、このような多重化手段に対応して外部変調器 6 6 a、6 6 b に於ける変調タイミングが選定され、各外部変調器 6 6 a、6 6 b の出力変調光信号の位相が異なるように制御することによって、光多重化部 6 8 に於いて光信号の多重化が行われる。

【0038】又光分岐部 6 5 を、例えば、出力ポート側を分離して 2 出力ポートを有するマッハツェンダ型光変調器とし、この光変調器に波長可変光源 6 4 の出力光を入射し、例えば、 10Gb/s のクロック信号で変調すると、位相が互いに逆の 10Gb/s の光クロック信号が二つの出力ポートから出力されて、それぞれ外部変調器 6 6 a、6 6 b に加えられる。そして、外部変調器 6 6 a、6 6 b に於いて伝送情報によって変調して、光多重化部 6 8 に於いて光多重化すると、 20Gb/s の伝送速度の多重化光信号が得られる。

【0039】光受信部 6 2 に於いては、2 系統の伝送情

報を時分割多重化した場合、電気信号に変換した後に分離することも可能であるが、この例に於いては、光増幅器 70 により増幅し、波長可変フィルタ 71 によって雑音光等を除去し、光分岐部 72 により分岐し、それぞれ受光部 73 a, 73 b に入力する。図示を省略したクロック再生部からのクロック信号を基に、光送信部 61 に於けるクロック信号 CLK a, CLK b と同様のクロック信号を得ることができそれを用いて、各受光部 73 a, 73 b の出力信号から二つの伝送系統の情報が再生される。

【0040】伝送特性測定部 74 は、受光部 73 a, 73 b ごとに対応して設けることもできるが、何れか一方の受光部に対して設け、システム立上時や運用中に於いて伝送特性を測定し、伝送特性が最良となるように、波長可変光源 64 の発光波長を設定し、且つ波長可変フィルタ 71 の通過波長特性を設定する。それによって、高速長距離伝送が容易となる。光増幅器 69 や波長可変フィルタ 71 等は省略することも可能である。

【0041】図 9 は本発明に係る光伝送システムの他の例のブロック図である。図 9 において、81 は光送信部、82 は光受信部、83 は光ファイバ、84 は波長可変光源、85 は光分岐部、86 a, 86 b は外部変調器、87 a, 87 b は駆動回路、88 は光多重化部、89 は光直接増幅器、90 は光分岐部、91 a, 91 b は光直接増幅器、92 a, 92 b は波長可変フィルタ、93 a, 93 b は受光部、94 は伝送特性測定部である。

【0042】光送信部 81 は、前述の実施例の送信部 61 と同様の構成であり、同様に動作する。光受信部 82 においては、光ファイバ 83 を介して受信した光信号を光分岐部 90 によって分岐し、それぞれ光増幅器 91 a, 91 b により増幅し、波長可変フィルタ 92 a, 92 b を介して受光部 93 a, 93 b に加える。従って、2 系統の伝送情報はそれぞれの受光部 93 a, 93 b により受光処理される。

【0043】又伝送特性測定部 94 は、前述の実施例と同様に、受光部 93 a, 93 b の何れか一方の出力信号を用いて光送信部 81 と光受信部 82 との間の伝送特性を測定し、伝送特性の最良点の発光波長となるように、波長可変光源 84 を制御し、且つ波長可変フィルタ 92 a, 92 b の波長通過特性を制御する。従って、光信号を時分割多重化することにより高速伝送が可能になり、且つ零分散波長のばらつきがあったとしても伝送特性が最良となる発光波長に制御することにより、長距離伝送が可能になる。

【0044】本発明は、前述の例にのみ限定されるものではなく、種々付加変更することができるものであり、図 8 及び図 9 の実施例に於いては、波長可変光源の出力光を 2 分岐する場合を示すが、更に多数に分岐して、それぞれに外部変調器を設けて、多数系統の伝送情報を変調光信号として時分割多重化し、高速伝送を可能とする

ことができる。又ビット多重の場合の実施例を示しているが、バイト多重やフレーム多重等の多重化手段を採用することも可能である。又図 8 及び図 9 に示す実施例に於いて、光ファイバ 63, 83 の所定距離毎に光増幅器を接続して、更に長距離の伝送を可能とすることもできる。

【0045】これまでに説明した例では、波長可変光源を用い、与えられた伝送路に対して信号光の波長を最適な値に調節することによって伝送条件を最適にしているが、これとは逆に信号光の波長を固定とし、波長分散の量を調節することが可能な分散可変補償器を用いて、与えられた波長に対して最適な伝送条件を得ることができる。以下にはそのような光伝送システムの例を説明する。

【0046】図 10, 11 の例では分散可変補償器を送信部に配置し、図 12, 13 の例では受信部に配置している。図 10, 図 12 は無中継伝送システム、図 11, 13 は光増幅多中継システムの場合の構成例を示す。図中、100 は光送信機、101 は分散量が可変できる分散可変補償器、102 は伝送路、103 は光受信機、104 は中継増幅器である。以下の説明で、同じ参照番号は同じ構成要素を示すものとする。ここで用いる分散可変補償器 101 としては、PLC (Planar Lightwave Circuit) を用いたマツハツェンダ型干渉計型分散補償器 (例えば、1994 年電子情報通信学会春季大会 C-337 「PLC 型光分散等化器を用いた分散補償実験」瀧口他)、あるいは光共振器型分散補償器 (例えば、1994 年電子情報通信学会秋期大会 B-935 「光共振器を用いた分散補償方式の検討」深代他) などを用いることができる。

【0047】図 14 では光増幅多中継システムにおいて、中継器内にも分散可変補償器を配置する実施例を示している。ただし、この図 14 の例のように全てのの中継器および送受信機内に分散可変補償器を配置する構成には本発明は限定されず、例えば中継器だけに分散可変補償器を配置する構成、送信機と中継器に分散可変補償器を配置する構成、あるいは中継器と受信機に分散可変補償器を配置する構成なども可能である。また中継器に配置する場合でもその一部のみに配置しても良い。

【0048】これら図 10~14 で用いる分散補償技術に関しては、これまでも既に、陸上システム、海底システム、無中継システム、多中継システムのいずれの場合にも、様々な分散補償器やそれらを用いた分散補償法が提案・実施されているが、本発明のポイントは、分散量を可変できる分散可変補償器を用いて、中継区間ごとに分散補償量を伝送特性が良好となる値に最適化する点にある。

【0049】この最適化する手法として、あらかじめ長さ方向変動も含む伝送路の零分散波長が把握できている場合には、シミュレーション等から最適分散補償量を決

定できるので、これを分散可変補償器101に設定する。図15には他の例が示される。この例は受信側で伝送特性を測定しながら分散補償量を掃引し、伝送特性が良好となる値に分散可変補償器101を設定する。ここでは、受信部に分散可変補償器101を配置しているため、受信機内で分散補償量を掃引しながら伝送特性を測定し、最適分散補償量に設定すればよい。伝送特性測定部105における伝送特性の測定方法は既に説明した伝送特性測定部53、74、94と同じで良い。

【0050】図16、17にはまた他の例が示される。この例は光伝送システムにおいて、受信側で測定する伝送特性に基づき、送信機もしくは中継器に制御信号をフィードバックし、その中に設置した分散可変補償器101の分散補償量を最適化するものである。図16は送信部のみに分散可変補償器を配置した構成であり、送信側で分散補償量を掃引しながら、受信側で伝送特性を測定し、その情報をフィードバックさせることで、最適分散補償量に設定することができる。図17は送信部、受信部、中継器全てに分散可変補償器を配置した場合である。なお、システム中に複数の分散補償器を配置する構成では、全てが分散可変補償器である必要はなく、一部は固定型の分散補償器を用いてもよい。固定型の分散補償器の場合は分散補償ファイバ(DCF)によっても実現することができる。

【0051】分散可変補償器による分散補償量の制御は、システム立上げ時のみでなく、システム運用中にも、伝送特性を監視しながら、分散補償量の制御を行うことにより、光源LDの波長変動や伝送路の零分散波長の温度変化および経時変化等にも対応することができる。これらの処理は手動で行なっても良いがCPUで自動的に行なっても良い。また、光送信機と光受信機との再生中継区間毎にCPUを設けて独立に制御する以外に、複数の再生中継区間を1つのCPUで相互の関係を調整しながら集中的に制御しても良い。

【0052】図18、19にはまた他の例が示される。この例は、分散可変補償器と波長可変光源106を併用した場合のものであり、図18は無中継伝送システム、図19は光増幅多中継伝送システムの場合の構成例である。ただし、本図に示すように、送信側、中継器、受信側全てに分散可変補償器を配置する構成には限られず、図14の場合と同様に種々の組み合わせが可能である。

【0053】この光伝送システムにおいては、分散可変補償器とともに、送信部に波長可変光源106を用い、受信側で伝送特性を測定しながら、送信波長も掃引し、伝送特性が良好になる値に設定したり、あるいは、受信側で測定する伝送特性に基づき、送信機に制御信号をフィードバックし、波長可変光源106の波長を最適値に設定する。

【0054】前述したように、特に、光増幅器を用いて比較的高い光パワーレベルでの伝送(無中継伝送と多中

継伝送の両方)を行う場合、信号光波長が光ファイバ伝送路の零分散波長近傍で、かつ異常(正)分散領域に設定すると、信号光と自然放光(ASE)との間で4光波混合(FWM)により、変調不安定現象(Modulation Instability)が生じる。これにより、ASEが増幅され、信号光のS/Nが劣化する。これを避けるには、信号光波長は正常(負)分散領域に設定し、受信側もしくは中継器で正の分散補償を行う方法が有効であることが知られている。すなわち、波長可変光源の波長を、伝送路に対して分散値が負でFWMが抑制できる程度の値になるように設定し、同時に、分散補償器の分散量を正值に設定することにより分散補償を行う。なお、波長可変光源の波長を、伝送路に対して分散値が正でFWMが抑制できる程度の値になるように設定して、同時に、分散補償器の分散量を負値に設定することにより分散補償を行ってもよい。これらの送信波長の設定は自動的に行ってもよい。送信波長の設定をシステム立上げ時に行ってもよい。あるいは送信波長の設定をシステム運用中にも行ってもよい。

【0055】なお、運用回線と分散条件および敷設環境のほぼ等しい予備回線が存在する場合には、まず、予備回線において、分散補償量および送信波長の最適化を行った後、それらを参照して、運用回線に適用する方法も可能である。これにより、サービスダウンさせずに、それぞれの最適化が可能となる。伝送路の条件を制御するパラメータとしては、前述の信号光波長(図1、3、4、8、9、18、19)及び分散補償量(図10~19)の他にプリチャージング量とファイバへ入力する光のパワーとを挙げることができる。

【0056】プリチャージング法とは、送信波長の1パルス内に波長(周波数)分布を予め与えることにより、波長分散および非線形効果による伝送波形変化を制御する方法であり、これまでいろいろな方法が提案されている。外部変調器として、たとえばマッハツェンダ型の変調器を使用する場合、印加電圧と光出力の関係は図20に示すように正弦曲線になる。印加電圧としてVb1の近傍を使用して図21(1)(a)のような正のパルスを与えると、図21(2)(a)に示すように印加電圧と同じ位相で正の光パルスが出力される。このとき、図21(3)(a)に示すように、光パルスの立ち上がり部分では光の波長が平均値よりも短くなり立ち下がり部分では長くなる。すなわち、1つの光パルスにおいて波長が時間とともに短波長(青側)から長波長(赤側)へシフトする。この現象がレッドシフトと呼ばれる。一方、Vb2の近傍を使用して図21(1)(b)のような負のパルスを与えると、図21(2)(b)に示すように印加電圧の位相とは逆の位相で正のパルスが出力される。このとき、図21(3)(b)に示すように、光パルスの立ち上がり部分では光の波長が長波長側に、立ち下がり部分では短波長側にシフトする。すなわ

ち1つの光パルスにおいて波長が時間とともに長波長（赤側）から短波長（青側）へシフトする。この現象がブルーシフトと呼ばれる。チャープ量を表すパラメータを α とすると、レッドシフトのとき $\alpha > 0$ でブルーシフトのとき $\alpha < 0$ である。信号光の波長が零分散波長よりも短かくて光ファイバの伝送条件が正常分散（ $D < 0$ ）の領域にあるとき、長波長の光は短波長の光よりも光ファイバ中を速く進むので、予め $\alpha > 0$ （レッドシフト）のプリチャープ量を与えておくとパルスの波形を鋭くする効果をもたらす、波形劣化が改善される。逆に、異常分散（ $D > 0$ ）の領域にあるとき短波長の光の方が速いので、予め $\alpha < 0$ （ブルーシフト）のプリチャープ量を与えておくと波形劣化が改善される。また伝送路の条件に合わせて α の値を調節することによって、光システム全体の伝送条件を最適化することができる。マッハツェンダ型光変調器では、前述のように動作点Vb1を使うか動作点Vb2を使うかで α の正負を切り換えることができる。また図22に示すように、強度変調部107と位相変調部108がタンデムに接続されたマッハツェンダ型光変調器を使用して位相変調部108の印加電圧を可変すれば、プリチャープ量 α を連続的に可変することができる。図示した例では強度変調部と位相変調部が一体に集積化されているが、個別のデバイスを接続しても良い。

【0057】ファイバ入力光のパワーについては、送信光パワーおよび中継器光出力パワーを変化させることで、伝送路中での自己位相変調効果と波長分散の相互作用（SPM-GVD効果）による波形変化の様子が変わる。また、WDM伝送の場合は、FWMによるクロストーク量（後述）も変化する。なお、これらの光パワー変化は、送信光源および光増幅器（光ポストアンプ、光インラインアンプ）の光出力パワーの制御により容易に実現可能である。

【0058】プリチャープ量の制御及び／又は光パワーの制御は前述の図1, 3, 4, 8～19の例において、信号光波長の制御及び／又は分散補償量の制御に代えて或いはこれらと併用して実施することができる。これまでに説明した例においては、伝送路の零分散波長 λ_0 の経時変化に対応するために、定期的或は連続的に伝送特性を測定して信号光の波長等の制御パラメータを調節している。 λ_0 の経時変化の要因の1つに伝送路の温度変化が挙げられる。これについては、伝送路の温度を評価することにより零分散波長のシフト量を推測し、それに基づいて制御パラメータを修正することによって伝送条件を最適化することができる。

【0059】なお、光ファイバの零分散波長付近の帯域を利用した光増幅多中継WDM方式においては、伝送特性の劣化要因として、信号光間の四光波混合によるクロストークがある。このクロストークを避けるためには、一波伝送の場合とは反対に、信号帯域と伝送路の零分散

波長を離す必要がある。信号光波長の配置例を図23に示す。この場合も、実際の光ファイバ伝送路の λ_0 の長さ方向変動の把握が重要となる。

【0060】図24に、 λ_0 の温度依存性の測定例を示す。

出典：H. Onaka et al., "Measuring the Longitudinal Distribution of Four-Wave Mixing Efficiency in Dispersion-Shifted Fibers", IEEE Photonics Technology Letters, Vol.6, No.12, 1994.

ここでは、長さ1.1kmのDSFに対し、四光波混合（FWM）の発生効率から λ_0 を求めている。これより、温度範囲-20～+60℃において、2.4nmの変化（変化率：0.03nm/℃）を示している。ここで用いたDSFの分散スロープは0.07ps/nm²/kmであることから、波長分散値としては0.168ps/nm/km変化することになる。この変化は、10Gb/s以上の伝送速度においては、長さ方向の変動とともに、システム設計において、十分に考慮しなければならない可能性がある。

【0061】温度の評価は図25に示すように光送信機100と光受信機103の間に敷設された光ファイバ伝送路102中の適切な一点110もしくは図26に示すように複数点110において行なう。複数点において温度を評価すれば、零分散波長のシフト量の分布を知ることができる。光増幅中継伝送システムの場合には図27に示すように中継伝送路102の一部又はすべてについて一点もしくは複数点において行なう。

【0062】温度評価の方法としては、伝送路の光ファイバケーブルの温度を適切な温度センサを使って直接測定する方法の他に、管路温度、光ファイバケーブルが地中に埋設されている場合はその地表温度、海中に敷設されている場合には水温を測定すること等により光ファイバケーブルの温度を推測することができる。また、端局もしくは中継局での気温や地表温度の測定からも推測することができる。光ファイバケーブルに沿って温度測定用の光ファイバを布設し、OTDR（Optical Time Domain Reflectometry）法を用いてラマン散乱光を測定すれば、連続的な温度分布を測定することができる。

【0063】以上の温度評価値から λ_0 の変動量を把握し、それに合わせて信号光波長等の制御パラメータを修正する。また、過去の温度評価の結果から、平均的な季節変動および昼夜変動カレンダーを作成し、それに基づいて（予めプログラミングしておいても良い）、制御パラメータを変化させる方式も考えられる。図28及び図29は温度評価値に基づいて波長可変光源106を制御することにより、再生中継区間毎に信号光の波長を修正して最適な伝送条件を得る例を示す。図28は無中継伝送システムの例、図29は光増幅中継伝送システムの場合を示す。図30は温度評価値に基づいてプリチャープ量

α を修正する例を示す。

【0064】図31～図33は分散補償量を修正する例である。光増幅中継伝送システムの場合を示すが、無中継伝送システムにも適用可能なのは勿論である。図31は送信部に分散可変補償器101を設置した例、図32は受信部に分散可変補償器101を設置した例、図33は送信部、受信部、及び各中継器に分散補償器101を設置した例を示す。

【0065】図34は温度評価値に基づき送信パワー及び中継器光出力パワーを修正することによりSPM-GVD効果による波形変化を改善する例を示す。アンプを制御する代わりに光源を制御しても良い。図35は信号光波長、プリチャージング量、分散補償量、及び光パワーを修正する例を示す。これらの修正処理は手動で行なっても良いが、CPUで自動的に行なっても良い。また、光送信機と光受信機との再生中継区間毎にCPUを設けて独立に制御する以外に、複数の再生中継区間を1つのCPUで相互の関係を調整しつつ集中的に制御しても良い。

【0066】前述したSPM効果は光強度が急激に変化することによりファイバの屈折率が急激に変化するために生じるとされている。従って、光パルスの立ち上がり時間と立ち下がり時間を強制的に延ばして光信号の強度変化を滑らかにして伝送させるとSPM効果による波形劣化を軽減することができる。この場合、単に光強度のみをゆるやかに変化させて立ち上がり／立ち下がりの変移時間を延ばすよりも、波長分散を強制的に生じさせて変移時間を延ばす方が、後段において分散補償等の手段でこれを補償することができるので好ましい。強制的な波長分散の手段としては、信号光波長を零分散波長 λ_0 から意図的にずらしてGVDにより分散させる方法と送信側に分散補償器を挿入する方法とがある。

【0067】図36及び図37は信号光の波長 λ 、をDSFの零分散波長 λ_0 から離れた値に設定し、受信側に固定的な分散値の分散補償器112を配置する例を示す。図36は無中継伝送の場合、図37は多中継伝送の場合である。分散補償器112の分散値Dは λ 、 $\neq \lambda_0$ によるGVDを補償できる値とする。図38及び図39は送信側に分散補償器112を配置する例を示し、図38は無中継伝送の場合、図39は多中継伝送の場合である。この場合も分散補償器112の分散値Dは λ 、 $\neq \lambda_0$ によるGVDを補償できる値とする。

【0068】図36又は図37の例において、図40に示すように、特に、 λ 、 $< \lambda_0$ に設定し、 $D > 0$ に設定すれば、 λ 、は負分散領域にあるので信号光と自然放出光との四光波混合が防止される。勿論、図41に示すように λ 、 $> \lambda_0$ 、 $D < 0$ の組み合わせでも良い。図42(a)及び(b)に示すように分散値Dの極性が互いに逆の分散補償器を受信側と送信側の双方に配置しても良い。さらに、図43に示すように、送信側、受信側及び

各中継器のすべて又は一部に分散補償器を配置しても良い。

【0069】上記の様にSPM効果を抑制すべく信号光の波長 λ 、を零分散波長 λ_0 から離れた値に想定して分散補償器を配置した上で伝送特性を測定し、その結果に応じて λ 、を最適値に修正することにより一層の最適化をすることができる。図44～46にそのシステム構成のいくつかの例の概略を示す。伝送特性の測定方法及び制御の態様については、既に説明した多数のバリエーションのすべてが適用可能である。また、図47～49に示すように、信号光波長 λ 、を固定し、プリチャージング量を制御しても良い。さらに図50～52に示すように信号光波長 λ 、とプリチャージング量の双方を制御しても良い。プリチャージング量の制御は前述したようにマッハツェンダ型的光変調器で実現できる。

【0070】これまでに説明した例では、光送信機と光受信機に挟まれた1つの再生中継区間においては、光増幅中継器が設けられていても単一の信号光波長が使用されていたが、以下に説明する例では、波長変換器を光増幅中継器内に配置して増幅中継区間毎に信号光波長 λ 、を最適化する。図53は光増幅中継器に波長変換器118を配置して増幅中継区間毎に信号光波長を最適化した光伝送システムの例を示す。図53ではすべての増幅中継区間に波長変換器118が配置されているが、この限りではない。図54に示すように送信部に波長可変光源106を配置して、送信部から最初の光増幅中継器までの区間の信号光波長をさらに最適化しても良い。

【0071】波長変換器118は例えば図55に示す光双安定レーザによる波長変換レーザを使って実現することができる。図の左側の部分が光双安定の領域であり活性層120上の電極を2つに分離し、その部分を可飽和吸収領域として用いている。利得領域122、124の電流を調節して素子を発振直前の状態にしておくと、入力光が注入された時に、可飽和吸収領域126が透明になりレーザ発振して、異なる波長の出力光が得られる。一方、図の右側の部分は発振波長の制御領域であり、位相シフト領域128と回折格子129を有するDBR領域130から成っている。DBR領域130に電流を注入するとキャリアーによるプラズマ効果により光ガイド層132の屈折率が減少し、ブラッグ波長を短波長側に動かすことができる。また、位相シフト領域128への注入電流を変えることにより、この領域の等価的な光路長を変えることができ、光の位相を発振条件に合わせることができる。したがって、2つの領域の電流を適当に変化することで、広範囲に出力光の波長を制御できることになる。

【0072】波長変換器112の第2の実現例として、四光波混合の現象を積極的に利用したものがある。DSFに零分散波長近傍の2つの波長 λ_0 、 λ_1 の光を入射すると、四光波混合により $\lambda_{01} = \lambda_0 + (\lambda_1 -$

λ_{10})の光が発生する。 λ_0 を波長可変光源から発生させて可変とし、出力光からフィルタで λ_{01} の光のみを取り出すようにすれば、 λ_{10} を λ_{01} に変換し、かつ、その波長を制御することができる。

【0073】各光増幅中継区間ごとに信号光波長の設定を行うことにより、さらに波長分散を小さく抑えられることによる伝送速度の増加、および零分散波長 λ_0 のばらつきの許容範囲を拡大できることによる伝送路コストの削減が図られる。また、わざわざ再生中継して、信号光波長を設定しなおすのではなく、光増幅中継器において高速光信号のまま波長変換を使うことにより、2度の光電気変換と高速の電子回路による処理を省くことができ、システムの小型化とコストダウンを実現することができる。

【0074】予め長さ方向変動も含む伝送路の零分散波長が把握できている場合には、シミュレーション等から、各光増幅中継区間ごとに最適な信号光波長に設定する。伝送路の零分散波長が不明な場合は、システム立ち上げ時に、波長可変光源と波長変換器を掃引しながら、受信側で伝送特性を測定し、伝送特性が最適になる波長に設定すればよい。このとき、図56に示すように伝送測定部105から制御信号をフィードバックさせながら波長掃引を行う方法も考えられる。この場合、例えば、まず各波長変換器は波長シフト量ゼロに設定しておき、波長可変光源を掃引し、伝送特性が最良の波長に設定する。このときに伝送特性が規格を満たさない場合は、送信側に近い方から順番に波長変換器を掃引させ、それぞれに伝送特性が最良の波長に設定していく方法等が考えられる。この場合の伝送特性の測定方法、及びシステム立上時と運用時の制御の態様については、既に説明した多数のバリエーションのすべてが適用可能である。

【0075】図57に示した例では、既に説明したように、SPM効果を低減すべくGVDを意図的につくるための分散補償器112が送信部にさらに配置されている。分散補償器をさらに各中継器に配置しても良い。次に、光多重を実用化するための周辺技術について説明する。光源からの光ビームを電気信号で変調して光信号を生成するために用いられるマッハツェンダ型光変調器は、図20を参照して既に説明したように正弦波の特性を持っているが、温度変化や経時変化に伴ってそれがドリフトするので、印加電圧の変化範囲(動作点)が常に適正になるようにドリフトを補償する必要がある。特開平3-251815号は印加電圧(高周波電気信号)を周波数 f_0 の低周波で振幅変調し、出力光に含まれる f_0 成分がゼロになるように印加電圧のバイアスを制御することによってマッハツェンダ変調器のドリフトを補償する技術を開示している。即ち、駆動電圧の範囲 $V_0 - V_1$ が適正であるときは図58に示すように出力光信号の上下の包絡線は周波数 $2f_0$ で互いに逆位相で変化するので f_0 成分が含まれないのに対して、動作点が変動

すると、図59及び図60に示すように、出力光信号の上下の包絡線が周波数 f_0 で互いに同相で変化するので f_0 成分が含まれるようになる。そこで出力光信号の一部をカプラで分岐して電気信号に変換し、 f_0 で位相検波した出力で光変調器のバイアスを制御することによって、動作点を安定化する。

【0076】この様なドリフト補償の技術を光多重化システムに適用した場合、各光チャンネル毎に光変調器が設けられるので、ドリフト補償回路もそれぞれに必要な。従って、前記のドリフト補償技術をそのまま光多重化システムに適用すると、光信号を分岐するためのカプラ及び分岐された光信号を電気信号に変換する光検出器等が多数必要になるという問題がある。

【0077】図61に本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システムの一例が示される。この例では、並列に複数配置されたマッハツェンダ型の光変調器 $201_1, 201_2, \dots$ に同一波長 λ_0 のレーザ光をそれぞれ入力し、光変調器 $201_1, 201_2, \dots$ の駆動回路 $203_1, 203_2, \dots$ では、低周波発振器 $204_1, 204_2, \dots$ で発生したそれぞれ異なる周波数 f_1, f_2, \dots の低周波信号で駆動信号(変調信号)を振幅変調する。

【0078】各光変調器 $201_1, 201_2, \dots$ からの出力光は、光合波した後に光伝送路に送出するとともに、光分岐器205でその一部をモニタ光として分岐し、その分岐光を光検出器206で光/電気変換し、さらに電気信号レベルで分岐し、各分岐した信号を帯域フィルタ $208_1, 208_2, \dots$ に通して対応する位相検出・バイアス供給回路 $202_1, 202_2, \dots$ に供給する。帯域フィルタ 208_k (但し、 $k=1, 2, \dots$ 、以下同じ)は対応する光変調器 201_k の低周波重畳成分の周波数 f_k を通過させる。

【0079】位相検出・バイアス供給回路 202_k では、光電変換し帯域フィルタ 208_k で抽出した出力光中の低周波成分を発振器 204_k の出力で位相検波して、光変調器 201_k の動作点を制御する信号を生成する。この制御を光変調器 $201_1, 201_2, \dots$ の各々が同時に行う。このように構成すると、光変調器 201_1 の位相検出・バイアス供給回路 202_1 の制御は帯域フィルタ 208_1 で分岐した低周波 f_1 成分で行われ、同様に、光変調器 201_2 の位相検出・バイアス供給回路 202_2 の制御は帯域フィルタ 208_2 で分岐した低周波 f_2 成分で行われるので、並列配置された各光変調器 $201_1, 201_2, \dots$ のバイアス制御がそれぞれ独立に可能となる。

【0080】この構成は複数の光信号を光時分割多重(OTDM)する場合に有効である。一か所での出力光分岐および光電変換で、複数の光変調器の制御が同時に可能となる。なお、この例では、光電変換して分岐した後に、各周波数成分を取り出すための帯域フィルタ $208_1, 208_2, \dots$ を用いているが、安定動作が可能であ

れば無くても構わない。

【0081】この図61の例では、低周波の振幅変調による動作点ドリフトの制御を、全ての光変調器201₁、201₂…が並列的に動作して同時に行うようにしているが、他の例として、ある任意の時刻において低周波振幅変調を行っている駆動回路が一つだけになるように、低周波振幅変調を行う駆動回路を時間的に切り替えるようにし、それに連動して、低周波振幅変調を行っている光変調器のみの動作点ドリフトを検出して制御し、その間、残りの光変調器の動作点を固定しておくようにしてもよい。このようにすると、低周波信号として同一周波数の信号を使用することができる。

【0082】図62にそのような光多重化システムの例が示される。この例では、並列に配置された光変調器への制御を一定の時間間隔T₀で切り替える。すなわち、複数のマッハツェンダ型光変調器201₁、201₂…を並列に配置し、各光変調器201₁、201₂…で同一波長λ₀の光信号の変調を行った後、それらを合波する。低周波発振器204は一つだけ用意して単一周波f₀を発生し、これを切替えスイッチ209で時間間隔T₀ごとに各駆動回路203₁、203₂…に時間的に切り替えて供給し、各駆動回路203₁、203₂…は時間的に順次に切り替わって単一周波数f₀の低周波振幅変調を行う。

【0083】光変調器201₁、201₂…の出力側では、合波した出力光を光分岐器205で分岐し光検出器206で光電変換し、位相検出・バイアス供給回路202に供給する。位相検出・バイアス供給回路202は出力光を分岐して光電変換した信号中の低周波成分を低周波発振器204からの低周波f₀信号で位相検波することによってバイアス電圧を生成し出力する。

【0084】位相検出・バイアス供給回路202の出力は切替えスイッチ210を介して各光変調器201₁、201₂…に供給される。切替えスイッチ210は切替えスイッチ209と連動するようになっていて、駆動回路で低周波振幅変調を行っている光変調器のみに対してバイアス電圧を供給することで動作点ドリフトを制御し、その間、残りの光変調器の動作点は固定しておく（例えばラッチ等で固定する。以下同じ）。

【0085】この例は図61の例と同様に、複数の光信号を光時分割多重する場合に有効であり、さらに、一つの位相検出・バイアス供給回路で制御可能であるという利点がある。制御していない光変調器でドリフトが起きないように、時間T₀は制御の時定数に比べて充分長い範囲でなるべく短く設定する。図63に本発明の光多重化システムの他の例が示される。この例では、光変調器201₁、201₂…が直列に配置される。すなわち、複数のマッハツェンダ型光変調器201₁、201₂…を直列に配置し、光源からの波長λ₀の光に2回以上の変調を加えるように系を構成する。なお、このシステ

ムは光信号が多重化されるわけではないので光多重化システムと呼ぶべきではないが、本願明細書では便宜的にこのシステムを光多重化システムと呼ぶこととする。

【0086】各光変調器201₁、201₂…の駆動回路203₁、203₂…ではそれぞれ異なる周波数f₁、f₂…で低周波振幅変調が行われる。最後段の光変調器の出力光を光分岐器205で分岐し、光検出器206で光電変換し、さらにこの電気信号を各帯域フィルタ208₁、208₂…をそれぞれ介して位相検出・バイアス供給回路202₁、202₂…にそれぞれ供給する。帯域フィルタ208_kは対応する光変調器201_kの低周波重畳成分の周波数f_kを通過させる。

【0087】位相検出・バイアス供給回路202_kでは、出力光から分岐した信号中の低周波成分を発振器204_kからの低周波f_k信号で位相検波して動作点ドリフトを検出して、対応する光変調器201_kの動作点を制御する。この動作点制御は各光変調器201₁、201₂…において同時に行う。動作安定が可能であれば帯域フィルタ208₁、208₂…は無くても構わない。

【0088】この図63の例では、低周波重畳を行っての動作点ドリフトの制御を、全ての光変調器201₁、201₂…が同時に行うようにしているが、他の例として、ある任意の時刻において低周波振幅変調を行っている駆動回路が一つだけになるように、低周波振幅変調を行う駆動回路を時間的に切り替えるようにし、それに連動して、低周波振幅変調を行っている光変調器のみの動作点ドリフトを検出して制御し、その間、残りの光変調器の動作点を固定しておくようにしてもよい。

【0089】図64にそのような光多重化システムの例が示される。この例では、直列に配置された光変調器201₁、201₂…への制御を一定の時間間隔T₀で切り替える。すなわち、複数のマッハツェンダ型光変調器201₁、201₂…を直列に配置し、光源からの光に2回以上の変調を加える系を構成する。低周波発振器204は一つだけ用意して単一周波f₀を発生し、これを切替えスイッチ209で時間間隔T₀ごとに各駆動回路203₁、203₂…に時間的に切り替えて供給し、各駆動回路203₁、203₂…は時間的に順次に切り替わって単一周波数f₀の低周波振幅変調を行う。

【0090】最終段の光変調器の出力光を光分岐器205で分岐し、光検出器206で光電変換し、位相検出・バイアス供給回路202に供給する。位相検出・バイアス供給回路202は出力光を分岐して光電変換した信号中の低周波成分を低周波発振器204からの単一周波f₀信号で位相検波することによってバイアス電圧を生成し出力する。

【0091】位相検出・バイアス供給回路202の出力は切替えスイッチ210を介して各光変調器201₁、201₂…に供給される。切替えスイッチ210は切替えスイッチ209と連動するようになっていて、駆動回

路で低周波振幅変調を行っている光変調器のみに対してバイアス電圧を供給することで動作点ドリフトを制御し、その間、残りの光変調器の動作点は固定しておく。

【0092】この例は、図63の例と同様に、光時分割多重において有効であり、さらに、一つの位相検出・バイアス供給回路で制御可能であるという利点がある。図65には本発明の光多重化システムの他の例が示される。この例では、並列に配置された光変調器201₁、201₂…でそれぞれ異なる波長 λ_1 、 λ_2 …の光を変調して波長多重し、各光変調器201₁、201₂…の駆動回路203₁、203₂…でそれぞれ異なる周波数 f_1 、 f_2 …の低周波振幅変調を行う。すなわち、複数のマッハツェンダ型光変調器201₁、201₂…を並列に配置し、異なる波長 λ_1 、 λ_2 …の光信号の波形多重を行う系を構成し、各光変調器201₁、201₂…の駆動回路203₁、203₂…においてそれぞれ異なる周波数 f_1 、 f_2 …の低周波振幅変調を行い、各光変調器201₁、201₂…の出力光を合波して波長多重出力光を出力する。

【0093】この波長多重出力光を光分岐器205で分岐して光検出器206で光電変換する。この光電変換した信号をそれぞれ帯域フィルタ208₁、208₂…を介して位相検出・バイアス供給回路202₁、202₂…に供給する。帯域フィルタ208_kは対応する光変調器201_kの低周波重畳成分の周波数 f_k を通過させる。位相検出・バイアス供給回路202_kでは、出力光を分岐した信号中の低周波成分を発振器204_kの低周波 f_k 信号で位相検波して動作点ドリフトを検出して、光変調器201_kの動作点を制御する。この制御を各光変調器201₁、201₂…で同時に行う。

【0094】この例は、波長多重の場合に有効であり、図61の例と同じ原理で、複数の光変調器の制御が同時に可能となる。安定動作が可能であれば帯域フィルタ208₁、208₂…は無くても構わない。この図65の例では、低周波振幅変調を行っての動作点ドリフトの制御を、全ての光変調器201₁、202₂…が同時に行うようにしているが、他の例として、ある任意の時刻において低周波振幅変調を行っている駆動回路が一つだけになるように、低周波振幅変調を行う駆動回路を時間的に切り替えるようにし、それに連動して、低周波振幅変調を行っている光変調器のみの動作点ドリフトを検出して制御し、その間、残りの光変調器の動作点を固定しておくようにしてもよい。

【0095】図66にはそのような光多重化システムの例が示される。この例では、並列に配置され、異なる波長 λ_1 、 λ_2 …の光を用いた光変調器201₁、201₂…への制御を一定の時間間隔T₀で切り替える。すなわち、複数のマッハツェンダ型の光変調器201₁、201₂…を並列に配置し、各光変調器201₁、201₂…でそれぞれ異なる波長 λ_1 、 λ_2 …の光信号の変

調を行った後、それらを合波する。低周波発振器204は一つだけ用意して単一周波 f_0 を発生し、これを切替えスイッチ209で時間間隔T₀ごとに各駆動回路203₁、203₂…に時間的に切り替えて供給し、各駆動回路203₁、203₂…は時間的に順次に切り替わって単一周波数 f_0 の低周波振幅変調を行う。

【0096】光変調器201₁、201₂…の出力側では、合波した出力光を光分岐器205で分岐し光検出器206で光電変換し、位相検出・バイアス供給回路202に供給する。位相検出・バイアス供給回路202は出力光を分岐して光電変換した信号中の低周波成分を低周波発振器204からの単一周波 f_0 信号で位相検波することによってバイアス電圧を生成し出力する。

【0097】位相検出・バイアス供給回路202の出力は切替えスイッチ210を介して各光変調器201₁、201₂…に供給される。切替えスイッチ210は切替えスイッチ209と連動するようになっていて、駆動回路で低周波振幅変調を行っている光変調器のみに対してバイアス電圧を供給することで動作点ドリフトを制御し、その間、残りの光変調器の動作点は固定しておく。

【0098】この例は、図65の例と同様に、波長多重において有効であり、さらに、一つの位相検出・バイアス供給回路で制御可能であるという利点がある。図67には本発明の光多重化システムの他の例が示される。この例では、並列に配置され、異なる波長 λ_1 、 λ_2 …の光を用いた光変調器201₁、201₂…の合波出力光を、電気変換する前に、波長分離素子212によって各波長 λ_1 、 λ_2 …の光変調器201₁、201₂…からの信号に分離している。すなわち、複数のマッハツェンダ型光変調器201₁、201₂…を並列に配置し、それぞれ異なる波長 λ_1 、 λ_2 …の光信号の波長多重を行う系を構成する。低周波発振器204は一つだけ用意して単一周波 f_0 を発生する。各駆動回路203₁、203₂…は単一周波数 f_0 で低周波振幅変調を行う。各光変調器201₁、201₂…の出力光を合波して波長多重出力光を作り、この波長多重出力光を光分岐器205で分岐し、さらに波長分離素子212を通すことによって各波長 λ_1 、 λ_2 …の光信号を分離する。この分離した光信号をそれぞれ光検出器206₁、206₂…を通すことで光電変換した信号を位相検出・バイアス供給回路202₁、202₂…にそれぞれ供給する。位相検出・バイアス供給回路202_kでは波長分離した信号中の低周波成分を低周波 f_0 信号で位相検波して動作点ドリフトを検出して、対応する光変調器201_kの動作点を制御する。この制御を各光変調器201₁、201₂…で同時に行う。この実施例は図65の例と同様に波長多重において有効であり、特に光波長の方が分離性がよい場合に適用できる。

【0099】図68には本発明の光多重化システムの他の例が示される。この例では、並列に配置され、異なる

波長 λ_1 , λ_2 ...の光を用いた光変調器201₁, 201₂...への制御を一定の時間間隔T₀で切り替え、時間的に透過波長の切り替わる波長可変フィルタ213によって、制御を行う光変調器の波長成分のみを取り出している。

【0100】すなわち、複数のマッハツェンダ型光変調器201₁, 201₂...を並列に配置し、異なる波長 λ_1 , λ_2 ...の光信号の波長多重を行う系を構成する。低周波発振器204は一つだけ用意して単一の低周波f₀を発生する。各駆動回路203₁, 203₂...では単一周波数f₀による低周波振幅変調を行う。各光変調器201₁, 201₂...の出力光を合波して波長多重出力光を作り、この波長多重出力光を光分岐器205で分岐し、光波長可変フィルタ213を通して光検出器206で光電変換する。光波長可変フィルタ213は時間的に透過波長の切り替わるフィルタであって、任意の一時刻には一つの波長成分のみを取り出し出力する。光検出器206の出力信号は切替えスイッチ214を介して各位相検出・バイアス供給回路202₁, 202₂...に時間的に切り替えて供給される。この切替えスイッチ214の切替えは光波長可変フィルタ213と連動しており、光波長可変フィルタ213が波長 λ_1 を透過するように切り替えられているときには、切替えスイッチ214はその出力信号を位相検出・バイアス供給回路202₁に供給するように切り替えられる。

【0101】位相検出・バイアス供給回路202₁は光電変換した信号中の低周波成分を前記低周波f₀信号で位相検波して、取り出した波長 λ_1 に対応する光変調器201₁の動作点ドリフトを検出して制御する。その間には残りの光変調器の動作点は固定しておく。この例は、図65の例と同様に、波長多重において有効であり、特に光波長可変フィルタによる波長選択の方が容易である場合に適用できる。この例では低周波振幅変調を行っている駆動回路を時間的に切り替える必要はないが、各光変調器ごとの動作点ドリフトによって現れる低周波成分をより明確に分離するために、切替えを行っても構わない。

【0102】図69には本発明の光多重化システムの他の例が示される。この光多重化システムは、図61のシステムに、特開平4-140712号公報に記載されたチャープング制御のための符号反転回路215₁、及び216₁を追加したものである。図20及び図21を参照して説明したように、マッハツェンダ型光変調器では動作点をVb1からVb2へ変更することによってプリチャープングの方向をレッドシフトからブルーシフトへ切り替えることができる。信号光の波長がDSFの正常分散領域にあるときはレッドシフトを与え、異常分散領域にあるときはブルーシフトを与えることによって、波形を改善することができる。符号反転回路215₁は、動作点切替信号に従って、発振器204₁から駆動回路2

03₁へ与えられる低周波信号の極性を反転することによって動作点をVb1からVb2へ変更する。動作点がVb2へ変更されると変調信号の論理と光信号の論理が逆転するので、符号反転回路215₁の切替に同期して符号反転回路216₁において変調信号の論理を反転する。なお、発振器204₁から駆動回路203₁へ供給される信号の位相を反転する代わりに発振器204₁から位相検出・バイアス供給回路202₁へ供給される信号の位相を反転させても、位相検出・バイアス供給回路202₁における位相検出の結果を反転させても良い。また、動作点の切替はすべての光変調器201₁について同時に行なうようにしても良い。

【0103】また、図69の実施例は前述の図61の光多重化システムに対して符号反転回路を付加したものであるが、本発明はこれに限られるものではなく、これまでに述べた各光多重化システム（図62～図68）に対しても同様に符号反転回路を付加することができ、その際、各符号反転回路の動作切替え信号はそれぞれ独立に行っても、また連動させて一括で行うようにしてもよい。

【0104】この符号反転回路（動作点シフト回路）による動作点の変更は、外部からの切替えスイッチを設ける方法や、システムが例えば受信側において伝送特性をチェックして自動切替えをする方法などが考えられる。ファイバの零分散波長近くの波長で伝送を行う場合、ファイバの零分散波長のばらつきや光源波長のばらつきなどで、伝送における波長分散の符号は正にも負にもなり得る。そのような場合、各光変調器での動作点を独立に切り替えることが便利であると考えられる。また、波長多重では、ファイバの零分散波長と信号光の各波長との大小関係が分かっている場合には、大小関係が同じ光変調器での動作点を一括して切り替える方が便利である場合が考えられる。また、光時分割多重の場合でも、直列に並んだ光変調器の動作点を一括して切り替えることにより、出力光の波長変動を逆転させることができる。

【0105】次に、光時分割多重（OTDM）伝送におけるクロック抽出技術について説明する。図70に本発明に係るクロック信号抽出が適用された光時分割多重伝送システムが示される。この実施例は2波多重により40Gb/sの伝送速度を実現するシステムの構成を示すものである。図71はこのシステムの送信側の各部信号のタイムチャートであり、図70中にアルファベットa～iで示される各信号の波形をそれぞれ示している。

【0106】まず、20GHzの単一正弦波bで動作する1入力2出力光スイッチ241により、光源LD（レーザダイオード）240の光信号aから、位相が互いに逆の20GHz光信号c, dを生成する。次に、それぞれのクロック光信号c, dに対して、外部変調器244, 245により20Gb/s NRZ信号e, fで外部変調することにより、20Gb/s RZ光信号g, hが生成され

る。そして、これらを合波器246によりビット多重(光MUX)することにより、40Gb/sの光多重信号iが生成される。この光時分割多重(OTDM)方式により、40Gb/s相当の超広帯域電子デバイスを必要とすること無しに、40Gb/s光伝送が実現できる。

【0107】なお、この他の構成として、図70の光源LD240と光スイッチ241の代わりに、短パルス光源や半導体光変調器付きLDを用いる構成や、送信側の光分岐用の光スイッチ241の代わりに、単なるパッシブ光パワー分岐素子や外部変調器を正弦波駆動する構成も可能である。一方、受信側では、40Gb/s光多重信号iを二つの20Gb/s RZ光信号に分離(光DEMUX)する必要がある。最近では、四光波混合(FWM)や相互位相変調(XPM)現象等の非線形効果を利用した超高速PLLによる光DEMUX方式の提案や実験が盛んに行われているが、いずれも大規模で、安定性の点でも課題がある。

【0108】そこで、図70のように、送信側に用いられた1入力2出力光スイッチにより、1ビット毎に交互にビット分離する方法が最も簡単と考えられる。図70において、伝送路248から受信された光多重信号は光プリアンプ249を通してビット分離用の光スイッチ252に入力されるとともに、光分岐器250でその一部が分岐されてクロック抽出回路251に入力される。クロック抽出回路251は例えば図82に示されるように入力信号を光検出器260で光電変換後に狭帯域の電気フィルタ(誘電体共振フィルタ、SAWフィルタ等)262によってクロック信号を直接抽出する。抽出されたクロック信号は光スイッチ252にビット分離タイミングを与える信号として供給される。このクロック信号に応じて光スイッチ252は受信した40Gb/s光多重信号iを二つの20Gb/s RZ光信号に分離(光DEMUX)してそれぞれの光受信機253、254に入力する。

【0109】しかし、この受信機構成においては、符号識別だけでなく、光スイッチ252での光スイッチ動作を行うために、データ主信号に同期した20GHzクロック信号が必要となり、受信される光多重信号自体に20GHz成分が含まれている必要がある。そこで、本発明では以下のような方法によって送信される光多重信号i自体にクロック信号抽出に十分な大きさの20GHz成分を含ませる。すなわち、図72に示すように、送信側の二つのRZ信号g、hに振幅差を設け、これを合波した40GHzの光多重信号iからクロックを抽出する。図示するように、合波した光多重信号iは図中に点線で示すような20GHzのクロック信号成分を十分に含むようになる。

【0110】次に、光多重信号にクロック信号成分を含ませるために多重化される光信号に振幅差を設けるための種々の方法について説明する。ここでは説明の便宜

上、光多重の方法として、別の光源LDを用い、それぞれの出力光を外部変調してから合波する構成をケースAとし、上述の図70の例のように一つの光源LDの出力光を分岐してから、それぞれを外部変調後に合波する構成をケースBとする。

【0111】図74にはケースAの場合の1例が示される。外部変調器244、245に光信号を入力する光源LDをそれぞれ用意し、この光源LD240a、240bの出力パワーが異なるように設定すれば、多重化される光信号g、hに振幅差を設けることができる。図75にはケースAの場合の他の例が示される。図示するように、光源LDから合波器246で合波されるまでの光経路の一方に光減衰器256を挿入することにより、多重化される二つの光信号g、hに振幅差を設けることができる。図示の例では外部変調器244と合波器246の間に光減衰器256を設けたが、光源LD240aと外部変調器244の間に設けるものであってもよい。もちろん、外部変調器245側の光経路に設けるものであってもよい。この光減衰器256の代わりに、光増幅器を用いる構成も可能である。さらに、外部変調方式に限らず、LD直接変調や変調器一体型LDを用いた場合も、これらの方法は有効である。

【0112】図76には上述の図75の方法をケースBに適用した場合の例が示される。このケースBは光源LDが一つである他は上述したものと同じであるので、詳細な説明は省く。またさらに、このケースA、ケースBのいずれの場合も、外部変調方式を採用した光時分割多重伝送方式においては、複数の光信号の光強度振幅差を、外部変調器244、245としてそれぞれ挿入損失の異なるものを用いることにより実現することができる。

【0113】外部変調器としてマッハツェンダ型的光変調器を用いる場合、光変調器を駆動する電圧振幅を変えたり、そのバイアス点を変えることで、出力光の振幅を変えることができる。図77、図78はこの様子を示すもので、図77では駆動電圧(印加電圧)の振幅値をV_eからV_fに変えることにより光出力強度が変わる様子が示される。また、図78では駆動電圧のバイアス電圧をV_{B-e}からV_{B-f}に変えることにより光出力強度が変わる様子が示される。このように外部変調器としてマッハツェンダ型的光変調器を用いる場合に限れば、駆動電圧振幅あるいはバイアス電圧を変えて外部変調器244、245の各出力光強度を変えることができる。

【0114】また、ケースBの場合は、光スイッチ241(あるいはこれに代わるパッシブ光パワー分岐素子など)による光源LD240の出力光の分岐比を1:1にしないことにより、各外部変調器244、245の出力光に振幅差を設けることができる。図79にはケースBの場合の他の例が示される。この例では、外部変調器244、245の各出力光の偏波状態が直線偏波の主軸が

直交するように設定している。このように、偏波状態が異なる、例えば直線偏波の主軸が直交する二つの R Z 信号を光多重する場合には、送信部（合波器 246）での光多重の後の光経路に、偏波依存性のある光学素子 257 を挿入することで、多重化された二つの光信号の光強度に光学素子 257 を通過後に振幅差を持たせることができ、交互のビットで光振幅の異なる光多重信号が実現できる。

【0115】また、上述の偏波依存性のある光学素子 257 を挿入するに代えて、合波器として構造上もしくは 10 光信号の入射偏光軸により、合波比に偏光依存性の存在する合波器を用いる構成も可能である。さらに、送信側での交互ビット間の偏波状態の関係が、受信側でもある程度保持される伝送システムにおいては、図 80 に示されるように、受信部において、光スイッチ 252 での光分離の前に、偏波依存性のある光学素子 258 を挿入するようにしてもよい。

【0116】なお、この実施例では、交互のビットに光強度振幅差のある 2 波多重の場合を説明したが、N 波多重の構成も可能である。例えば 4 波多重を行うような光 20 多重伝送システムの場合にも、光多重信号からクロック信号を抽出することができる。図 73 はこのような 4 波多重の例を示すもので、4 波多重する光信号を g_1 , g_2 , g_3 , g_4 とすると、 $g_1 > g_2 = g_4 > g_3$ の関係に各振幅差を設け、これらを合波して光多重信号 i を作成すると、この光多重信号 i は図中の点線で示すようなクロック信号成分を含むようになる。さらに、この場合は振幅差の設定方法により、複数種類のクロック信号成分を含ませることができる。

【0117】また、本発明の一つの特徴点として以下の 30 点が挙げられる。すなわち、従来の 10Gb/s までの光伝送システムにおいては、信号光を受光（光電変換）後に、電気段で主信号を分岐して、クロック抽出を行っている。これに対して、本発明においては、図 81 に示すように、光段で主信号から分岐した光多重信号から、上述の各方法によりクロック抽出を行い、そのクロック信号を用いて光分離を行う点が特徴である。

【0118】多重化伝送システムにおける次の問題として、一般に送信側における多重化前の各チャンネルと受信側における多重分離後の各チャンネルとの対応関係が 40 固定的に定まっていることが要求される。例えば図 70 において、駆動回路 242 へ供給される信号は常に光受信機 253 において受信され、駆動回路 243 へ供給される信号は常に光受信機 254 で受信されることが要求される。しかしながら、従来の OTDM 伝送システムでは、受信側で各チャンネルの区別をしていないため、システムを立ち上げる毎に対応関係が変わる可能性があり、そのため回線の管理ができないという問題がある。

【0119】図 83 は本発明に係る OTDM 通信システムの受信側において用いて好適な光分離器の構成を示 50

す。受信された光信号を 2 つに分岐する光分岐回路 300、一方の分岐光信号からクロック信号を再生するクロック信号再生回路 302、再生されたクロック信号に従って受信光信号を光レベルで 2 チャンネルに分離する光スイッチ 304 及び分離された各チャンネルの光信号からデータを再生する 2 つの光受信部 306, 308 からなる構成は図 70 のシステムの受信側と同様である。

【0120】送信側から伝送されるデータは例えば図 84 の形式に従う。図 84 において、310 は光受信部 306, 308 においてフレーム同期を確立するためのフレーム同期データであり、312 はチャンネルを識別するための識別データである。回線識別データ抽出回路 314, 316 はこの識別データ 312 を抽出し、制御回路 318 は回線識別データ抽出回路 314, 316 が抽出した識別データに従い、信号交換回路 320 を制御して、出力回線 1 へ出力すべきデータが出力回線 1 へ、出力回線 2 へ出力すべきデータが出力回線 2 へ出力されるように信号交換回路 320 内の接続を制御する。回線識別データ抽出回路 314, 316 の入力信号は、信号交換回路 320 の出力から取り出しても良い。制御回路 318 はマイクロコンピュータを使って容易に実現することができる。

【0121】図 85 に示した光分離器では、光受信部の出力の接続を切り換える代わりに、位相可変器 322 を制御して光スイッチ 304 に与えるクロック信号の位相を変えることにより、実質的に接続切換の効果を得ている。2 多重の場合、クロック信号の位相を 180° シフトすることにより、実質的に接続の入れ替が達成される。

【0122】図 86 には図 85 の光分離器を 2 チャンネルから 4 チャンネルへ拡張した例を示す。クロック信号発生回路 302 で再生されたクロック信号は位相可変器 322 を経て光スイッチ 304 へ供給されるとともに、1/2 分周器 303 で 1/2 分周され、位相可変器 323 及び 323' をそれぞれ経て光スイッチ 305 及び 305' へ供給される。4 チャンネルの光信号 CH1~CH4 が図 115 (a) に示すように CH1→CH2→CH3→CH4 の順で多重化されているとすると、光スイッチ 304 は図 115 (b) に示すクロックで 1 タイムスロット毎に切り換えられるので、一方の出力からは図 115 (c) に示すように CH1 と CH3 が他方の出力からは図 115 (d) に示すように CH2 と CH4 が 2 タイムスロット毎に交互に出力される。光スイッチ 305 及び 305' は図 115 (e) 及び図 115 (h) に示すクロックで 2 タイムスロット毎に切り換えられるので、図 115 (f) (g) に示すように CH1 と CH3 が分離され、図 115 (i) (j) に示すように CH2 と CH4 が分離される。制御回路 318 は回線識別データ抽出回路 314~317 が抽出する識別データに従って、例えば CH1 が出力回線 1 から、CH2 が出力回線

2 から、CH 3 が出力回線 3 から、CH 4 が出力回線 4 から出力されるように位相可変器 322、323、323' を制御する。

【0123】図 87 に示した光分離器は、図 85 において位相可変器 322 により位相を 180° シフトさせる代わりに、分離される前の光信号を光遅延器 324 によりクロック信号の位相 180° に相当する時間だけ遅延又は前進させるものである。クロック信号の位相を変更する代わりに光信号をそれに相当する時間だけ遅延又は前進させても同等の効果が得られる。光遅延回路 324 は、例えば、図 88 に示すように、コーナーキューブ 326 を機械的に移動することにより、光路長を変えることができるようにしたもので実現することができる。

【0124】図 89 は本発明の光分離器の他の例を示す。図 89 の例では、図 84 の識別データ 312 の代わりに、図 90 に示すように、チャンネル毎に異なる周波数の低周波信号 $f_1 - f_4$ を重畳することにより識別を可能にしている。ただし、図 89 は 2 多重の場合を示す。光スイッチ 304 で分離された光信号は光分岐回路 328 及び 330 でそれぞれ分岐され、光/電気変換回路 332 及び 334 で電気信号に変換され、低周波検出部 336 及び 338 で重畳された低周波信号が検出される。制御回路 318 は、低周波検出部 336 及び 338 において検出される低周波信号の周波数からチャンネルを認識し、予め定められたチャンネルの信号が出力回線 1 及び出力回線 2 から出力されるように、信号交換回路 320 内の接続を切り換える。前述したように、接続を切り換える代わりに、図 91 に示すように、クロック信号の位相を変更しても、図 92 に示すように、光信号を遅延又は前進させても良いのは勿論である。また、2 多重の場合、一方のチャンネルを認識するだけで充分であるので、光分岐回路 330、光/電気変換回路 334 及び低周波検出部 338 は必ずしも必要でなく、図 91 及び図 92 に示すように、一方のチャンネルのみを使用してもよいが、一方の側に障害が発生したときの予備として設けても良い。また、光受信部 306 又は 308 に、図 93 に示すように、光/電気変換素子 340 へ流れる電流をモニタするための光電流モニタ回路 342 を設けて、この出力から低周波信号を取り出すこともできる。この場合、光分岐回路 328、330 と光/電気変換部 332、334 が不要にできる。

【0125】図 94 はチャンネル毎に異なる周波数の低周波信号 f_1 を重畳して送出する光送信機の構成を示す。光源 400 からの光を外部光変調器 402 においてクロック信号で打ち抜き、分岐回路 404 において必要な数だけ (図の例では 2) 分岐する。第 1 の分岐光について、外部光変調器 406 において周波数 f_1 で変調し、さらに外部光変調器 408 において第 1 の主信号で変調する、第 2 の分岐光についても外部光変調器 410 において周波数 f_2 で変調し、外部光変調器 412 に

いて第 2 の主信号で変調し、遅延器 414 で第 1 の光信号との位相差をつくり、加算器 416 で加算する。これによって、第 1 の主信号で変調される期間 (タイムスロット) においては周波数 f_1 が振幅重畳され、第 2 の主信号で変調されるタイムスロットにおいては周波数 f_2 が振幅重畳される。外部光変調器 402 における信号の打ち抜きは、多重信号が図 107 に示す波形になるように、すなわち、各チャンネルのパルスが 1 タイムスロットを占めるように行なうことが好ましい。こうすることによって得られる利点については後述する。

【0126】なお、図 94 に示した光多重化方式において、光信号を同相で分岐し変調をかけた後、位相差をつかって合波しているが、図 70 に示した光多重化方式においては光スイッチ 241 により逆相で分岐した後、そのまま合波している。後者の方式においても、周波数 f_1 又は f_2 で変調する外部光変調器を外部光変調器 244 及び 245 に直列に設ければ、チャンネル毎に異なる周波数の低周波信号を重畳することができる。外部光変調器 402、406、408、410、及び 412 は LiNbO₃ マッハツェンダ型光変調器又は EA 光変調器 (電界吸収型光変調器) で実現できる。

【0127】図 95 は本発明の光送信機の他の例を示す。駆動回路 418 及び 420 において周波数 f_1 及び f_2 を予め主信号に振幅重畳しておくことにより、外部光変調器の数を減らすことができる。駆動回路 418、420 は図 96 に示すようなデュアルゲート FET で実現することができる。駆動波形を図 120 に示す。図 83 ~ 図 93 を参照して説明した光受信機用の光分離器の構成の一部を変形すれば、光多重信号に含まれる識別情報に従って光信号を交換する或る種の光交換機として用いることができる。例えば、図 85 又は図 87 の光受信部 306 及び 308 を、図 116 又は図 117 に示すように、光分岐回路 600 及び 602 でそれぞれ置き換え、光分岐回路 600、602 の他方の出力を光出力回線 1 及び 2 へ接続すれば、光交換機として使用できる。図 91 又は図 92 の回路については、図 118 又は図 119 に示すように、光分岐回路 328 及び 330 の出力を直接光出力回線 1 及び 2 へ接続すれば良い。

【0128】受信信号に図 90 に示すように低周波信号が重畳されている場合、これを利用してチャンネル識別の他に、光分離のためのクロック信号の位相の安定化制御を行なうことができる。図 97 には重畳されている低周波信号を使ってクロック信号を安定化する位相制御部を有する光受信機の構成が示されている。受信された Q bits の光信号を 2 つに分岐する光分岐部 430、一方の分岐信号から $Q/2$ Hz のクロック信号を再生するタイミング再生部 432、再生されたクロック信号に従って光信号を光レベルで 2 つの $Q/2$ bit/s の光信号に分離する光スイッチ 434、及び分離された光信号からデータ信号を再生する光受信器 436、438 からなる構成

は図83と同様である。

【0129】タイミング再生部432から光スイッチ434へ供給されるクロック信号の位相は位相可変回路439で可変され、位相可変回路439は位相制御部440により制御される。位相制御部440は、分離された $Q/2$ bit光信号の一方を分岐する光分岐部442、分岐された光信号を電気信号に変換する受光素子444、受光素子444の出力のうち、特定の周波数 f_1 の信号のみを通過させるバンドパスフィルタ446、発振周波数 g_1 の発振器448、バンドパスフィルタ446の出力を周波数 g_1 の信号で位同期検波する同期検波回路450、同期検波回路450の検波出力を所定の基準値と比較し、比較結果に応じて制御電圧を発生する比較器452、及び、発振器448の出力と比較器452の出力を加算して位相可変回路439の制御信号を出力する加算器454から構成される。なお、各チャンネルの光信号のすべてに異なる周波数の低周波信号が重畳されている必要はなく、特定のチャンネルのみに低周波信号が重畳されていれば充分である。後者の場合、バンドパスフィルタ446は不要である。しかし、この場合にもバンドパスフィルタ446を挿入すれば同期検波回路450へ入力する信号のSN比を改善することができる。

【0130】図98(a)に示すように、CH1のみに周波数 f_1 が重畳されているものとする。図98(b)に示すように光スイッチ434においてクロック信号の位相が光信号の位相に完全に一致しているとき、図98(c)に示すように受光素子444から出力される周波数 f_1 の信号の強度は最大になる。図98(d)に示すように、クロック信号の位相がずれているとき、光スイッチ434からは受信されたすべての f_1 信号が切り出されないので、 f_1 信号の強度が低下する。すなわち、図99に定義される光信号とクロック信号の位相差 θ が 0° から $\pm 180^\circ$ までに変化するとつれて f_1 成分の強度は図100に示されるように直線的に減少する。位相可変回路409は発振器448の出力で制御されるので、クロック信号は周波数 g_1 で微小に位相変調されている。いま、位相変動の中心が図100の(b)点にあるとすると、 f_1 成分の強度は周波数 g_1 で変化し、かつ、直線が右上がりであるから、 f_1 成分の強度変化の位相は発振器448が出力する周波数 g_1 の位相と一致するか又は逆位相になる。従って同期検波回路450において周波数 g_1 で位同期検波すると、その出力は或る絶対値を持つ正値又は負値をとる。位相変動の中心が図100の(c)点にあるときは、直線が右下がりであるから位相検波出力は(b)点にあるときと値は同じで符号が逆転する。(a)点にあるときは変動の半分が折り返されるから、周波数 g_1 の変動成分はなくなり、位相検波出力は0になる。従って、比較器452において同期検波回路450の出力を基準値たとえば0レベルと比較し、その比較結果を発振器448の出力に加算した

結果でクロック信号の位相を制御することにより、動作点が図100の(a)点になるように制御することができる。比較器452に入力されている制御信号は比較器452の出力の極性を反転させるためのものであり、比較器452の出力の極性を反転させることにより、制御の中心が図100の(a)点(極大値)から極小値へ移るので、クロック信号の位相が 180° シフトする。これによってチャンネルの切換を容易に達成することができる。

【0131】図101に示した回路は図97の光受信機の変形である。図101の回路においては、光受信機438へ向かう光信号だけでなく、光受信機436へ向かう光信号についても光分岐器460において分岐され、位相制御部440と同一構成の位相制御部462へ入力される。ただし、位相制御部440に具備されるバンドパスフィルタの中心周波数は f_1 であるのに対して、位相制御部462では他のチャンネルにロックするため、バンドパスフィルタの中心周波数は f_2 である。それぞれの位相制御部440、462のバンドパスフィルタの出力は比較器464へ入力され、基準値と比較される。これによって、未使用のチャンネルがあればそれを認識することができる。一方のチャンネルが未使用である場合、使用中のチャンネルについて得られた位相量制御信号でクロックの位相を制御すべく、切替器466を制御して位相制御部440及び462のいずれか一方の出力信号を選択し出力する。切替器466が選択した位相量制御信号が位相可変回路439に供給される。使用中と認識されたチャンネルが複数存在するときは予め定められた優先順位に従って切替器466が制御される。

【0132】図102も図97の変形である。位相制御部440において低周波信号を検出するために光信号を分岐して電気信号に変換する代わりに、図93で説明したように、光受信機438に設けた光/電気変換素子470のための光電流モニタ部472の出力から低周波信号を検出している。図103は4多重に拡張した例を示す。光スイッチ434で分離された2つの $Q/2$ bit/s光信号はさらに光スイッチ474及び476によって4つの $Q/4$ bit/s光信号に分離される。光スイッチ474及び476へは、位相可変回路439から出力される $Q/2$ Hzクロック信号を1/2分周器478で分周した $Q/4$ Hzクロック信号が位相可変回路480及び482を経てそれぞれ供給される。位相制御部440は周波数 f_1 を制御対象として $Q/2$ Hzクロック信号の位相を制御する。周波数 f_1 は例えば図104に示すように、CH1及びCH3タイムスロットに重畳されているので、位相制御部440の働きにより $Q/2$ Hzクロック信号の位相はCH1又はCH3のタイムスロットに同期する。したがって、光スイッチ434によりCH1+CH3とCH2+CH4とを安定に分離することができ

る。なお、CH3へは必ずしも f_1 が重畳されている必要はない。

【0133】図103の例では、CH1+CH3が光スイッチ476へ、CH2+CH4が光スイッチ474へ入力するように設定されているものとする。位相制御部484は周波数 f_2 を制御対象として、光スイッチ476へ入力される $Q/4$ Hzクロック信号の位相を制御する。周波数 f_2 は図104の例ではCH1のタイムスロットに重畳されているから、光スイッチ476はCH1とCH3を安定に分離することができる。位相制御部486は周波数 f_3 を制御対象として、光スイッチ474へ入力される $Q/4$ Hzクロック信号の位相を制御する。周波数 f_3 は図104の例ではCH2のタイムスロットに重畳されているから、光スイッチ474はCH2とCH4を安定に分離することができる。

【0134】図103は4多重の例を示しているが、8多重、16多重の場合も、同様にして光スイッチ、分周器及び位相制御部を縦続接続すれば良い。図103の回路の変形として、光スイッチ434へ与えられる $Q/2$ Hzクロックの位相が最適であれば光スイッチ474、476へ与えられる $Q/4$ Hzクロックの位相が最適になるように、製作時に光バスと電気バスの位相を調整するようにすれば、図105に示すように、位相可変回路480、482及びそれらのための位相制御部484、486は省略することが可能である。この場合、多重する低周波信号は f_1 のみで良いので、バンドパスフィルタ446も省略できる。

【0135】図103の構成において、位相制御部440、484、486において必要な周波数 f_1 、 f_2 、 f_3 を図102と同様に光受信機に設けた光/電気変換素子の光電流モニタ部の出力から検出するようにしても良い。この場合において、CH1を受信することを予定している光受信機453からは f_1 及び f_2 を検出し、CH3を受信することを予定している光受信機455からは f_3 を検出するように構成する。

【0136】図106は図97、101、102、103及び105におけるタイミング再生部432と位相可変回路439の詳細な構成の一例を示す。タイミング再生部432は光/電気変換を行なう受光素子490、受光素子490の出力からQHzの成分をつくり出すための非線形抽出回路492、非線形抽出回路492の出力からQHzの成分のみを取り出すタイミングフィルタ494、タイミングフィルタ494の出力の振幅を一定にするためのリミッタアンプ496及び1/2分周器498からなる。位相可変回路439はタイミングフィルタ494とリミッタアンプ496の間に挿入するのが好適である。

【0137】非線形抽出回路492はさらに微分回路500と全波整流回路502からなる。各チャネルのパルスが1タイムスロット内にはいる信号を光多重した場合

は波形が図107のようになるため、非線形抽出処理を行うための微分回路500と全波整流回路502とが必要になり、タイミング再生部432を簡略化することができる。

【0138】また、その様な簡略化を行なった場合、光/電気変換を行う受光素子490は、図108のようにQHzに共振周波数をもつ特性でもよい。平坦で広帯域な周波数特性をもつ受光素子が不要となり、受光素子の製造が容易になる。また、受光素子がフィルタ特性をもつためタイミングフィルタ494の帯域外減衰特性を緩和させることができる。

【0139】図109は図106の回路の変形である。分岐回路504で信号の一部を分岐し、レベル検出器506で受信信号のレベルを検出し、比較器508で基準値と比較して基準値以下であれば入力断アラームを出力する。入力から比較器508までは故障の少ない受動部品のみで構成されているので、光入力断を確実に検出することができる。これによって、光受信機で信号断状態となったとき、光入力信号が断状態であるのか同期はずれであるのかを区別することができる。

【0140】クロック信号に従って入力光信号を互いに逆相の2つの光信号に分離する光スイッチは、特開昭55-7315号公報に記載されたTi拡散LiNbO₃結晶導波路による能動光方向性結合器により実現できる。図110に示すように、2つのゲート型光スイッチ510、512、それらに光信号を分配する光分岐回路514、及び一方のゲート型光スイッチ510へのクロック信号の位相を180°シフトする位相シフタ516で構成しても良い。この場合、能動光方向性結合器よりも偏波依存性を小さくすることができる。ゲート型光スイッチとは、光変調器としても使用される、印加電圧により光透過率が変化するデバイスをいい、例えば電界吸収型光変調器(EA変調器)である。

【0141】図97~105を参照して説明した光受信機では受信光信号から再生したクロックの位相を制御することにより最適なクロックを得ていたが、クロックをVCO(電圧制御発振器)で発生し、その周波数及び位相が最適になるように構成することもできる。図111において、位相制御部440の構成と動作は図97と同様である。光スイッチ434に供給されるクロック信号はVCO520で発生され、位相制御部440が出力する制御信号はVCO520へ与えられる。以下に、図111の回路において、VCO520が生成するクロック信号が最適な値になるように制御されることを説明する。以下のように定義する。

【0142】 $\phi(t)$: 光スイッチ434に入力するクロック信号の位相(VCO520の出力信号の位相)
 $\alpha(t)$: 光スイッチに入力する光信号の位相(簡単化のため、1010交番信号が入力していると考え) 50
 チャネル1を基準とする。

【0143】 $\theta(t) : \phi(t) - \alpha(t)$ (図99参照)

ω_0 : VCOの自走角周波数

$V(t)$: VCO制御電圧×VCOの角周波数変調感度

V_0 : 同期検波回路450の出力値

K : 定数

$$d\phi/dt = \omega_0 + V(t) = \omega_0 + I_0 \cos 2\pi g_1 t + KV_0 \quad (1)$$

今、 V_0 がゆっくり変化している、もしくは定常状態にあると考え、一定とする。

【0145】(1)式を積分すると、(2)式のように※10

$$\phi = (\omega_0 + KV_0)t + I_1 \sin 2\pi g_1 t + C$$

(C : 積分定数、 I_1 : 定数) (2)

よって、 $\alpha(t)$ の時間微分が一定とみなすと、 $\theta(t)$ は図97の場合と同様に周波数 g_1 で位相変調される。

【0146】 θ に位相変調が施されていると、既に説明したようにバンドパスフィルタ446を通過する f_1 成分は、図100に示す応答をする。すなわち、(a)点では、波形が折り返されるため、 f_1 成分の変動に $\sin 2\pi g_1 t$ の成分がなくなる。(b)点では、入力信★20

$$d\phi/dt = \omega_0 + V(t) = \omega_0 + KV_0(t) \quad (3)$$

更に変形して、

$$d\theta/dt = d\phi/dt - d\alpha/dt = \omega_0 - d\alpha/dt + V_0(t) \\ = \Delta\omega_0 + KV_0(t)$$

$d\alpha/dt$ は一定値なので、 $\Delta\omega_0$: 一定値である。 K が正でかつ、 K が大きく $\Delta\omega_0/K \approx 0$ であれば、 $\theta > 0$ の場合 $V_0(t) < 0$ 、 $d\theta/dt < 0$ より、 θ は0へ収束する。

【0148】 $\theta < 0$ の場合 $V_0(t) > 0$ 、 $d\theta/dt > 0$ より、 θ は0へ収束する。以上より、 θ は0へ収束していき、光スイッチで光信号を最適なタイミングで光路を切り替えることができることが示される。図111の構成において、光入力断を検出するための回路構成を図113に示す。受信光信号は光分岐部522において分岐され、一方は光スイッチ434(図111)へ入力する。他方は受光素子524で電気信号に変換され、バンドパスフィルタ526及び528において低周波成分 f_1 及び f_2 がそれぞれ検出され、除算器530及び532において直流値で除算されて規格化され、比較器534及び536において基準値と比較され、比較結果のANDを入力断アラーム信号とする。図111の回路では一方のチャンネルに f_1 が他方のチャンネルに f_2 が重畳されている場合を想定している。 f_1 と f_2 のうち一方のみをモニタしても良いが両方をモニタしておく片方の回線のみを使用することができる。除算器530及び532は入力パワーの変動の影響を除くためのものであり、入力パワーが安定している場合、不要である。

【0149】図114は図111の回路を4多重に拡張したものである。光スイッチ540、542のクロックはVCO520の出力を1/2分周器544で1/2分

*バンドパスフィルタ446(中心周波数 f_1)を通過する f_1 成分の強度は位相差 θ に対して図100のように変化する。

【0144】ここで、VCO520の制御電圧に発振器448から低周波信号 $I_0 \cos 2\pi g_1 t$ を加えることにより、 θ に摂動を与える。

※なり、 ϕ が周波数 g_1 で位相変調されていることがわかる。

★号に対して同相になり、(c)点では逆相になる。よって、発振器448からの出力 $I_0 \sin 2\pi g_1 t$ を用いて同期検波したときの出力 $V_0(t)$ は図112に示すようになる。(同相の場合、+1を逆相の場合、-1を出力すると仮定する。)次に、動作がどこに収束していくかをみる。簡単化のため、摂動成分を除くと、以下のようにかける。

【0147】

周して作り出している。なお低周波信号 f_1 はCH1とCH2に重畳される。

【0150】

【発明の効果】以上述べてきたように本発明によれば、伝送条件の最適化により大容量伝送が可能になり、光多重化の実現のためのいくつかの周辺技術が確立される。

【図面の簡単な説明】

【図1】波長可変光源が設けられた本発明の光伝送システムの一例を示すブロック図である。

【図2】波長可変光源の一例としての波長可変半導体レーザーを示す斜視図である。

【図3】中継器ごとに波長可変フィルタをさらに設けた本発明の光伝送システムの他の例を示すブロック図である。

【図4】伝送特性部をさらに設けた本発明の光伝送システムの他の例を示すブロック図である。

【図5】符号誤り率の測定値から波長を決定する方法を説明する図である。

【図6】アイパターンによる伝送特性の測定を説明する図である。

【図7】Q値を説明する図である。

【図8】本発明の光伝送システムの他の例を示すブロック図である。

【図9】本発明の光伝送システムの他の例を示すブロック図である。

【図10】分散可変補償器が送信側に設けられた本発明

の光伝送システムの一例を示すブロック図である。

【図 1 1】本発明の光伝送システムの他の例を示すブロック図である。

【図 1 2】分散可変補償器が受信側に設けられた本発明の光伝送システムの一例を示すブロック図である。

【図 1 3】本発明の光伝送システムの他の例を示すブロック図である。

【図 1 4】中継器にも分散可変補償器が設けられた本発明の光伝送システムの一例を示すブロック図である。

【図 1 5】伝送特性測定部がさらに設けられた本発明の光伝送システムの一例を示すブロック図である。 10

【図 1 6】本発明の光伝送システムの他の例を示すブロック図である。

【図 1 7】本発明の光伝送システムの他の例を示すブロック図である。

【図 1 8】本発明の光伝送システムの他の例を示すブロック図である。

【図 1 9】本発明の光伝送システムの他の例を示すブロック図である。

【図 2 0】マッハツェンダ型の光変調器の特性を示す図である。 20

【図 2 1】マッハツェンダ型光変調器におけるレッドシフト及びブルーシフトを説明する図である。

【図 2 2】プリチャーピング量の制御のために強度変調部と位相変調部をタンデムに接続したマッハツェンダ型光変調器を示す図である。

【図 2 3】波長多重方式における信号波長の配置の一例を示す図である。

【図 2 4】零分散波長 λ_0 の温度依存性を示す図である。

【図 2 5】光ファイバの温度評価の一例を示す図である。

【図 2 6】光ファイバの温度評価の他の例を示す図である。

【図 2 7】光ファイバの温度評価の他の例を示す図である。

【図 2 8】温度評価に基づき信号光波長を変更する光伝送システムの一例を示す図である。

【図 2 9】本発明の光伝送システムの他の例を示す図である。

【図 3 0】温度評価に基づきプリチャーピング量を変更する光伝送システムの一例を示す図である。

【図 3 1】温度評価に基づき分散補償量を変更する光伝送システムの一例を示す図である。

【図 3 2】分散可変補償器と受信側に配置した光伝送システムの一例を示す図である。

【図 3 3】分散可変補償器を送信部、受信部及び中継器に配置した光伝送システムの一例を示す図である。

【図 3 4】温度評価に基づき光増幅器の増幅度を変更する光伝送システムの一例を示す図である。

【図 3 5】温度評価に基づき、信号光波長、プリチャーピング量、分散補償量、及び光増幅度を変更する光伝送システムの一例を示す図である。

【図 3 6】分散補償器を受信側に配置することにより非線形効果を軽減した光伝送システムの一例を示す図である。

【図 3 7】光伝送システムの他の例を示す図である。

【図 3 8】分散補償器を送信側に配置した光伝送システムの一例を示す図である。

【図 3 9】光伝送システムの他の例を示す図である。

【図 4 0】受信側に配置した分散補償器の補償量 D を正とした光伝送システムの一例を示す図である。

【図 4 1】受信側に配置した分散補償器の補償量 D を負とした光伝送システムの一例を示す図である。

【図 4 2】分散値の極性が互いに逆の分散補償器を送信側及び受信側に配置した光伝送システムの一例を示す図である。

【図 4 3】中継器にも分散補償器を配置した光伝送システムの一例を示す図である。

【図 4 4】分散補償器を配置し、さらに、伝送特性を測定して信号光波長を最適化する光伝送システムの一例を示す図である。

【図 4 5】分散補償器を送信側に配置した光伝送システムの一例を示す図である。

【図 4 6】分散補償器を送信部、受信部及び中継器に配置した光伝送システムの一例を示す図である。

【図 4 7】分散補償器を配置し、さらに、伝送特性を測定してプリチャーピング量を最適に制御する光伝送システムの一例を示す図である。

30 【図 4 8】分散補償器を送信側に配置した光伝送システムの一例を示す図である。

【図 4 9】分散補償器を送信部、受信部、及び中継器に配置した光伝送システムの一例を示す図である。

【図 5 0】分散補償器を配置し、さらに、伝送特性を測定して信号光波長及びプリチャーピング量を最適に制御する光伝送システムの一例を示す図である。

【図 5 1】分散補償器を送信側に配置した光伝送システムの一例を示す図である。

40 【図 5 2】分散補償器を送信部、受信部、及び中継器に配置した光伝送システムの一例を示す図である。

【図 5 3】光増幅中継器に波長変換器を配置した光伝送システムの一例を示す図である。

【図 5 4】送信部における波長も可変とした光伝送システムの一例を示す図である。

【図 5 5】波長変換器の一例としての波長変換レーザの断面図である。

【図 5 6】伝送特性を測定して各光増幅中継区間ごとに信号光波長を最適化する光伝送システムの一例を示す図である。

50 【図 5 7】さらに、分散補償器を配置した光伝送システ

ムの一例を示す図である。

【図 5 8】動作点が適正であるときのドリフト補償回路の動作を説明する図である。

【図 5 9】動作点が変動したときのドリフト補償回路の動作を説明する図である。

【図 6 0】動作点が変動したときのドリフト補償回路の動作を説明する図である。

【図 6 1】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システムの一例を示すブロック図である。

【図 6 2】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システム他の例を示すブロック図である。 10

【図 6 3】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システム他の例を示すブロック図である。

【図 6 4】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システム他の例を示すブロック図である。

【図 6 5】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システム他の例を示すブロック図である。

【図 6 6】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システム他の例を示すブロック図である。

【図 6 7】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システム他の例を示すブロック図である。 20

【図 6 8】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システム他の例を示すブロック図である。

【図 6 9】本発明のドリフト補償回路を有する光多重化システム他の例を示すブロック図である。

【図 7 0】本発明のクロック抽出技術が適用される光時分割多重伝送システムの一例を示すブロック図である。

【図 7 1】図 7 0 のシステムの動作を説明するためのタイミングチャートである。

【図 7 2】本発明のクロック抽出技術を説明するための波形図である。 30

【図 7 3】本発明のクロック抽出技術の他の例を説明するための波形図である。

【図 7 4】本発明の光送信機の一例を示すブロック図である。

【図 7 5】本発明の光送信機他の例を示すブロック図である。

【図 7 6】本発明の光送信機他の例を示すブロック図である。

【図 7 7】マッハツェンダ型光変調器の駆動電圧の振幅を 40 変えることによる出力光の強度の変更を説明する図である。

【図 7 8】マッハツェンダ型光変調器の駆動電圧のバイアスを変更することによる出力光の強度の変更を説明する図である。

【図 7 9】本発明の光送信機他の例を示すブロック図である。

【図 8 0】本発明の光受信機の一例を示すブロック図である。

【図 8 1】本発明の光受信機他の例を示すブロック図 50

である。

【図 8 2】クロック抽出回路の詳細を示すブロック図である。

【図 8 3】本発明の光分離器の一例を示すブロック図である。

【図 8 4】チャンネル識別データを含む伝送データの形式の一例を示す図である。

【図 8 5】本発明の光分離器の他の例を示すブロック図である。

【図 8 6】本発明の光分離器の他の例を示すブロック図である。

【図 8 7】本発明の光分離器の他の例を示すブロック図である。

【図 8 8】光遅延回路の一例を示す図である。

【図 8 9】本発明の光分離器の他の例を示すブロック図である。

【図 9 0】光信号に多重化される低周波信号を示す図である。

【図 9 1】本発明の光分離器の他の例を示すブロック図である。

【図 9 2】本発明の光分離器の他の例を示すブロック図である。

【図 9 3】本発明の光分離器の他の例を示すブロック図である。

【図 9 4】本発明の光送信機の一例を示すブロック図である。

【図 9 5】本発明の光送信機他の例を示すブロック図である。

【図 9 6】駆動回路 418, 420 の詳細を示す回路図である。

【図 9 7】本発明のクロック位相安定化制御を行なう光受信機を示すブロック図である。

【図 9 8】図 9 7 の回路の動作を説明するタイミングチャートである。

【図 9 9】位相差 θ を説明する図である。

【図 100】位相差 θ と f_1 成分の強度との関係を示す図である。

【図 101】本発明の光受信機他の例を示す図である。

【図 102】本発明の光受信機他の例を示す図である。

【図 103】本発明の光受信機他の例を示す図である。

【図 104】図 103 の光受信機において受信信号に重量される低周波信号の一例を示す図である。

【図 105】本発明の光受信機他の例を示すブロック図である。

【図 106】タイミング再生部の詳細の一例を示すブロック図である。

【図 107】光多重化信号の一例の波形図である。

【図108】受光素子の特性の一例を示す図である。

【図109】タイミング再生部の詳細の他の例を示すブロック図である。

【図110】光スイッチの詳細を示すブロック図である。

【図111】本発明の光受信機の他の例を示すブロック図である。

【図112】位相差 θ に対する周期検波出力値の関係を
示す図である。

【図113】入力断アラーム検出のための回路の一例を
示す図である。

【図114】本発明の光受信機の他の例を示すブロック
図である。

【図115】図86の回路の動作を説明するタイミング

チャートである。

【図116】本発明の光交換機の一部を表わすブロック
図である。

【図117】本発明の光交換機の一部を表わすブロック
図である。

【図118】本発明の光交換機の一部を表わすブロック
図である。

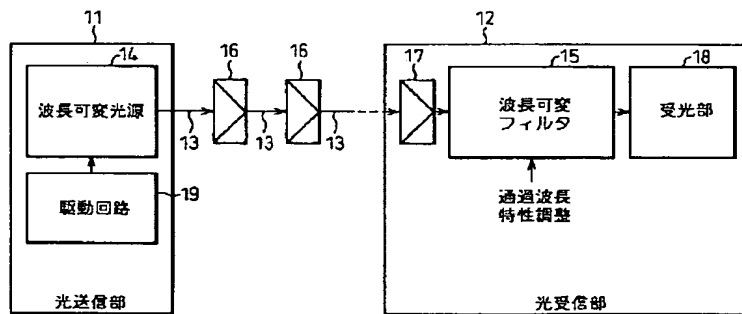
【図119】本発明の光交換機の一部を表わすブロック
図である。

【図120】図96の回路の動作を示す波形図である。

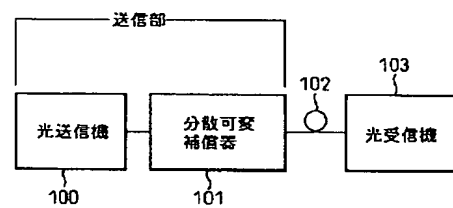
【符号の説明】

13, 33, 43, 63, 83, 102…光ファイバ
16, 17, 36, 37, 46, 47, 69, 70, 8
9, 91a, 91b, 104…光増幅器

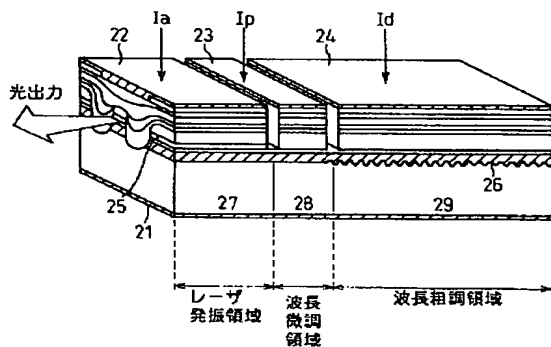
【図1】



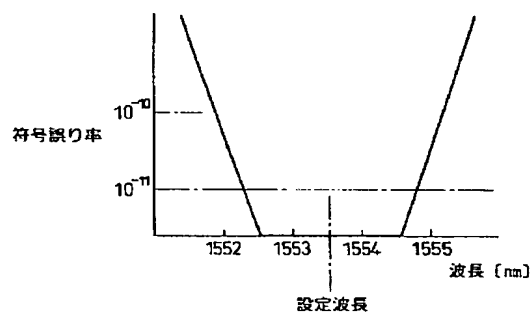
【図10】



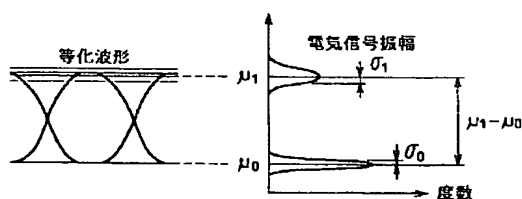
【図2】



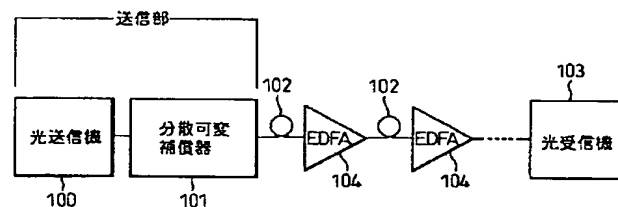
【図5】



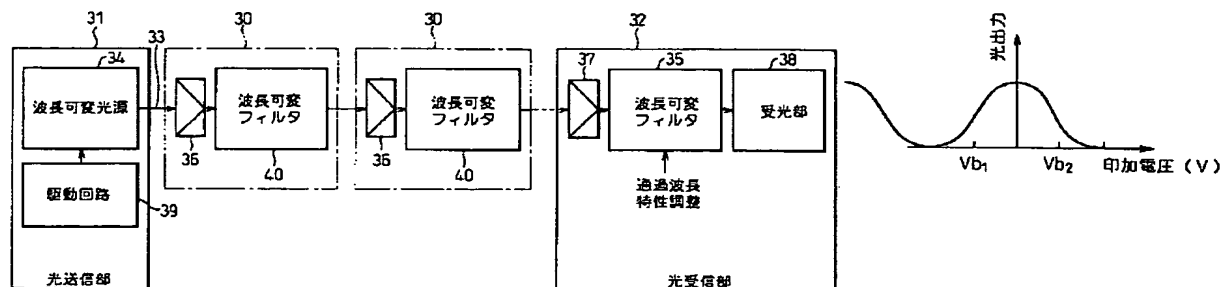
【図7】



【図11】

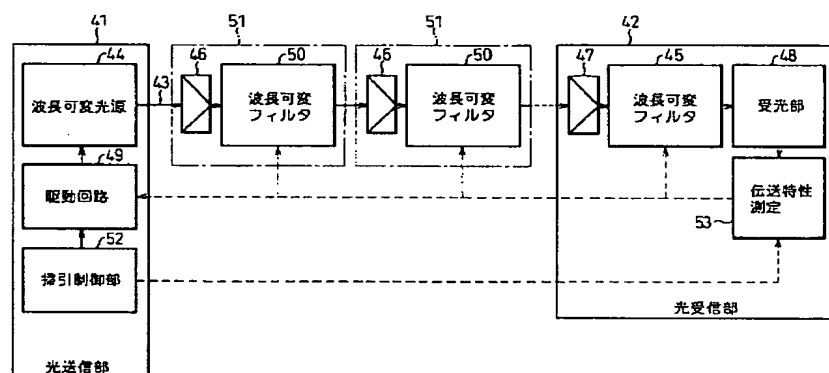


【図3】

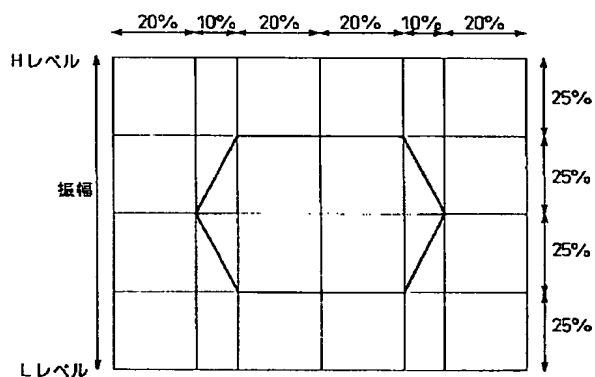


【図20】

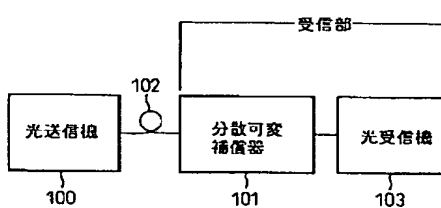
【図4】



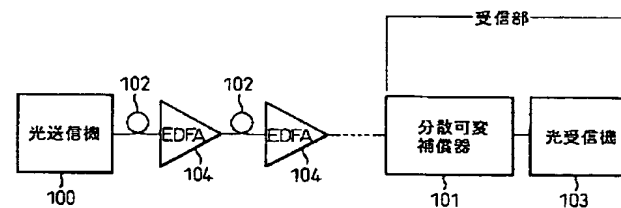
【図6】



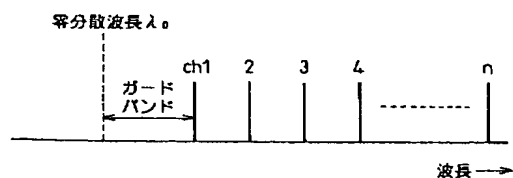
【図12】



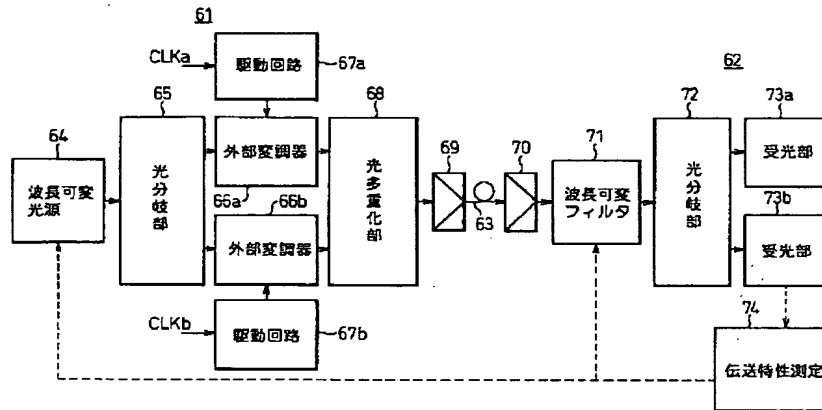
【図13】



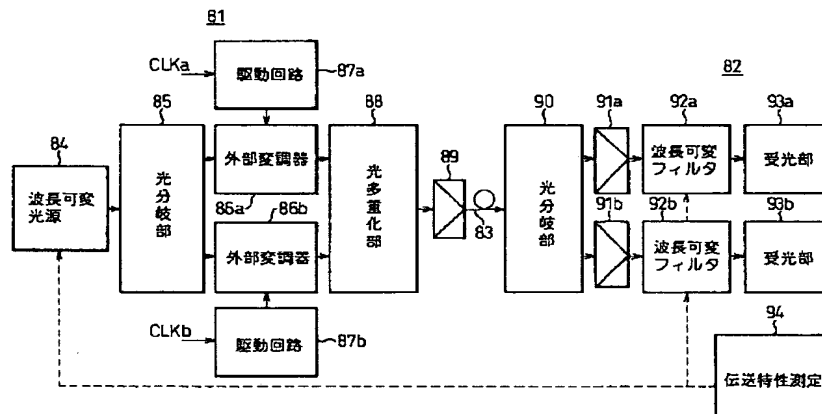
【図23】



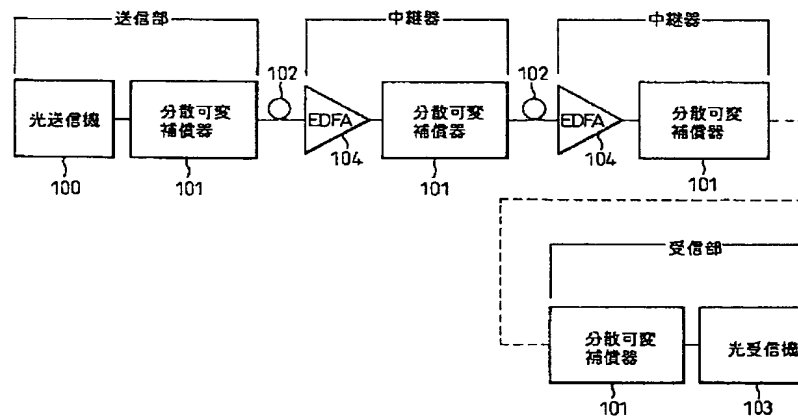
【図 8】



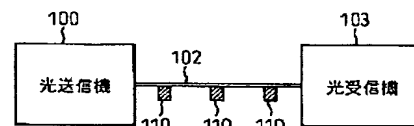
【図 9】



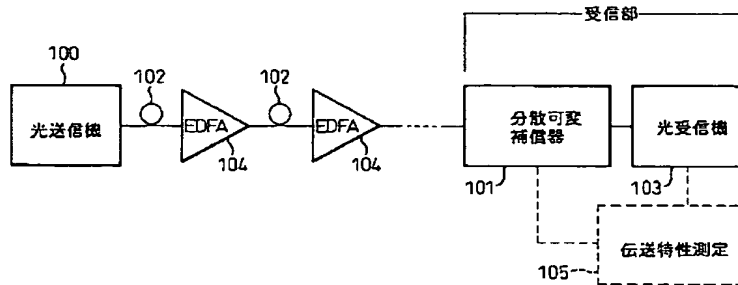
【図 14】



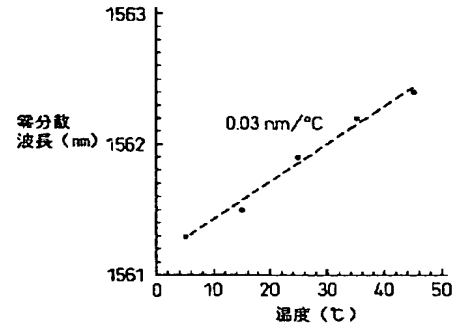
【図 26】



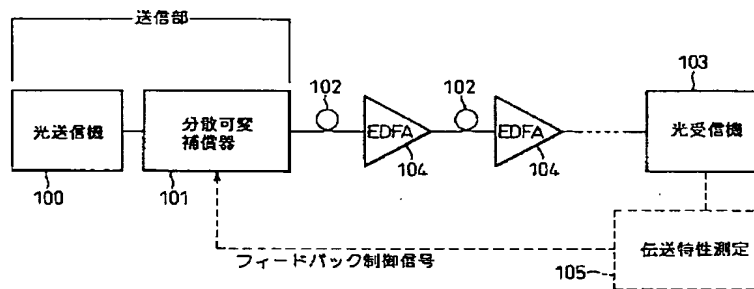
【図 15】



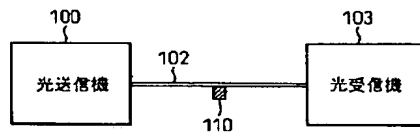
【図 24】



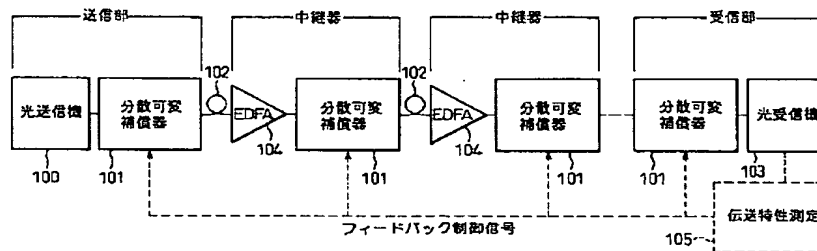
【図 16】



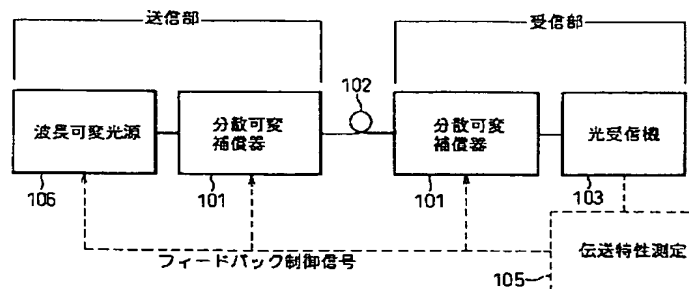
【図 25】



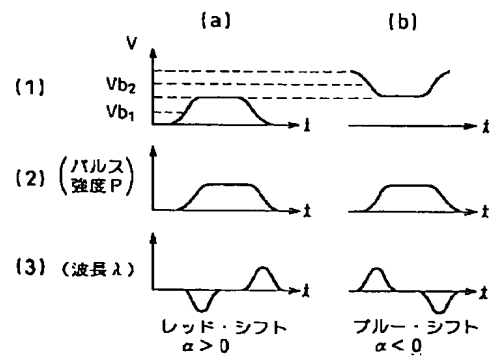
【図 17】



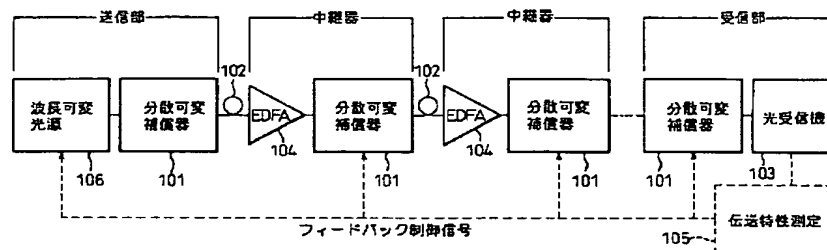
【図 18】



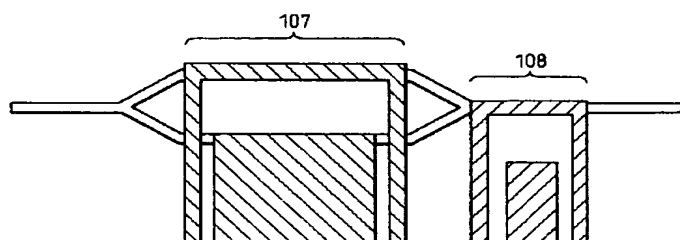
【図 21】



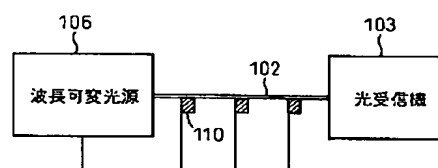
【図 19】



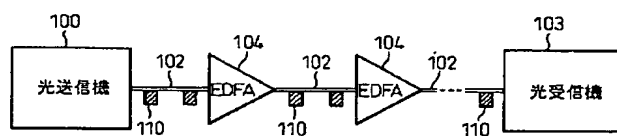
【図 22】



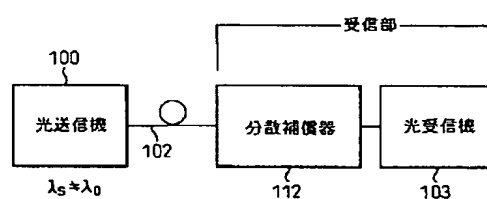
【図 28】



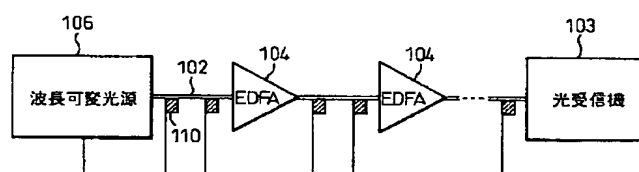
【図 27】



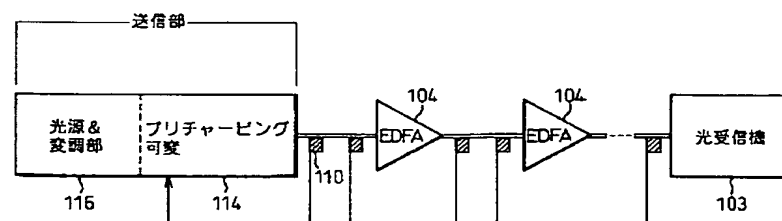
【図 36】



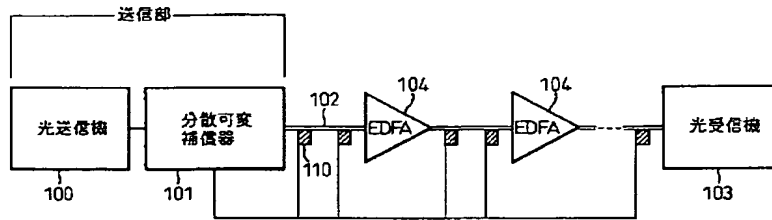
【図 29】



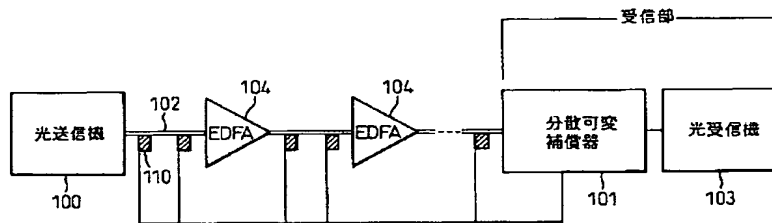
【図 30】



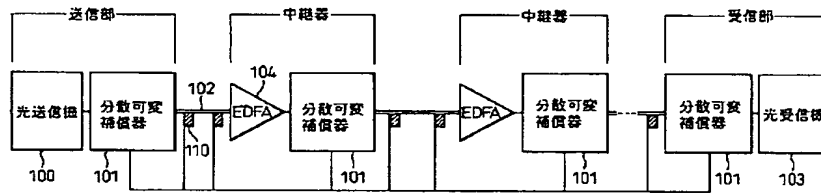
【図31】



【図32】

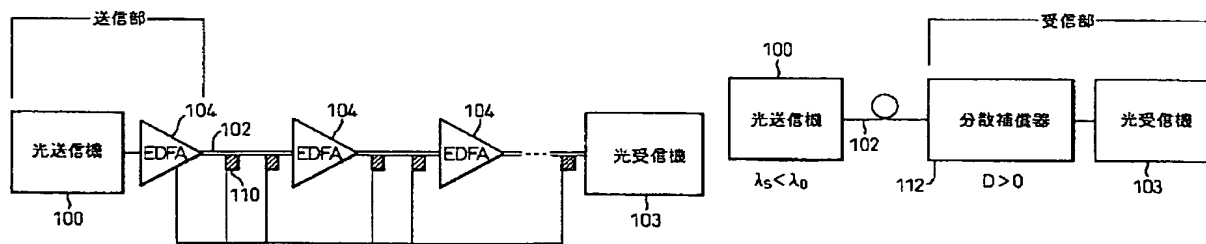


【図33】

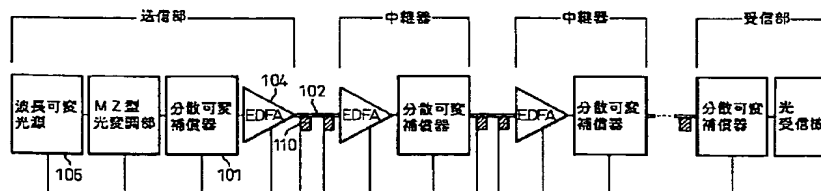


【図34】

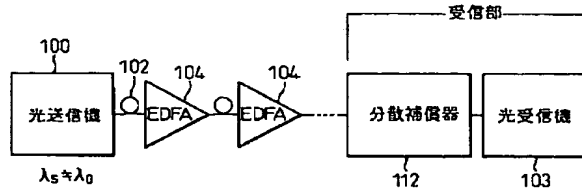
【図40】



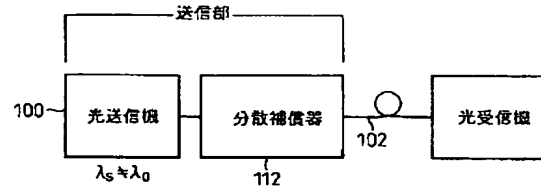
【図35】



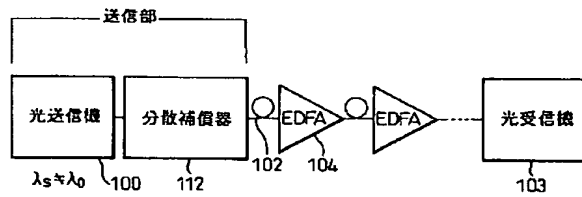
【図37】



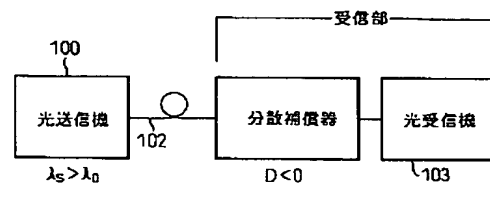
【図38】



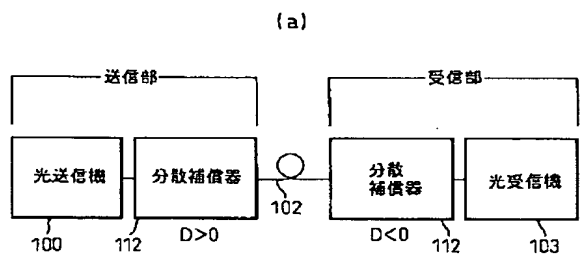
【図39】



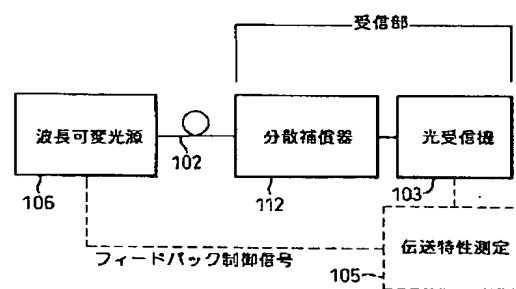
【図41】



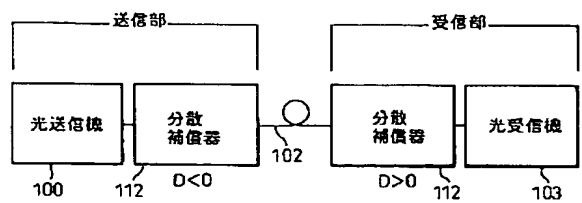
【図42】



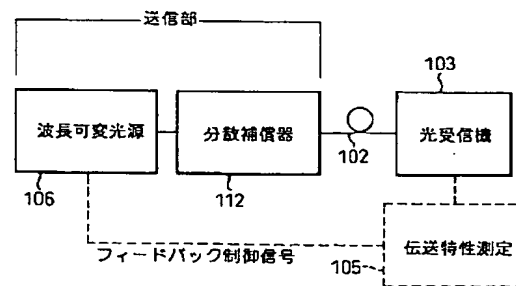
【図44】



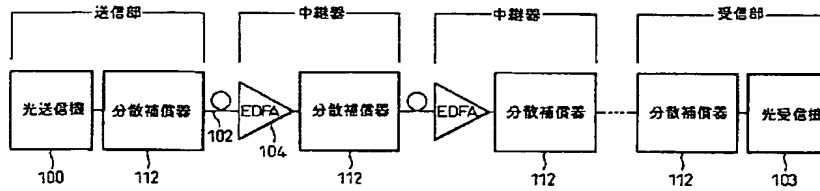
(b)



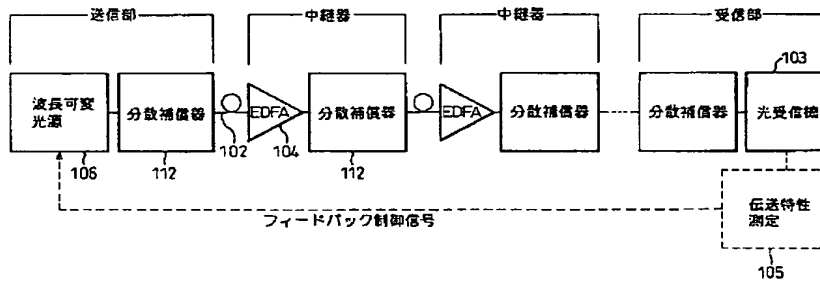
【図45】



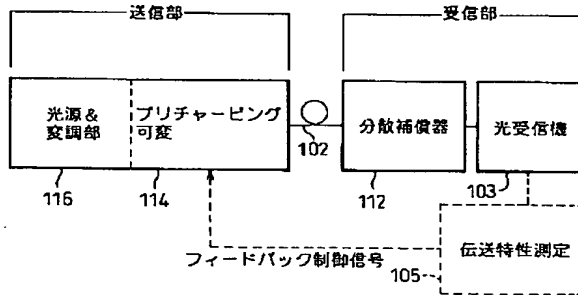
【図 4 3】



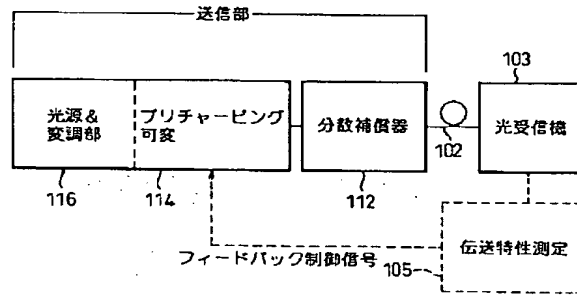
【図 4 6】



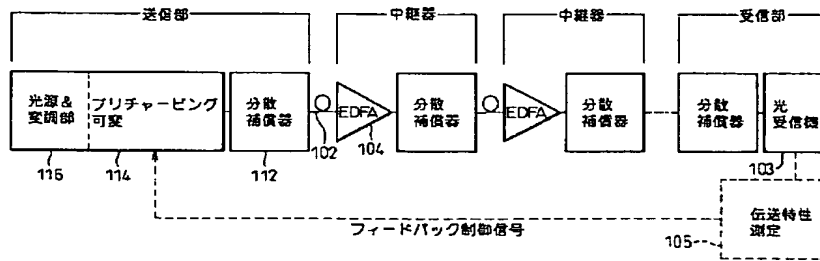
【図 4 7】



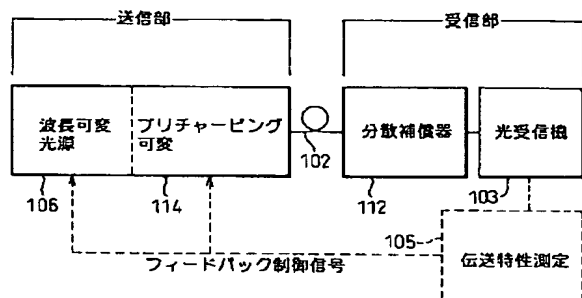
【図 4 8】



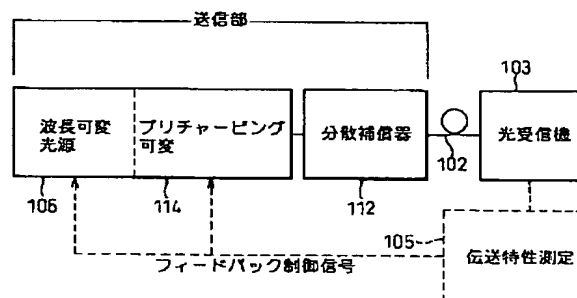
【図 4 9】



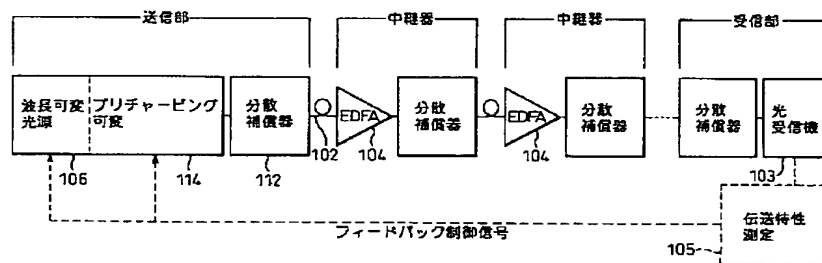
【図 5 0】



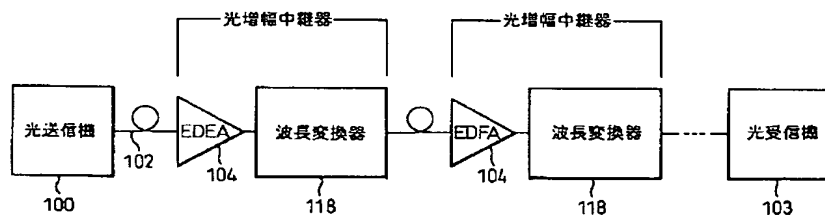
【図 5 1】



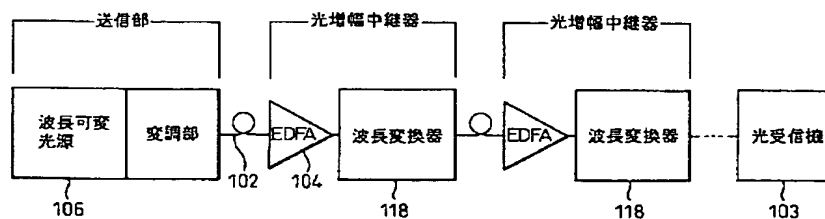
【図 5 2】



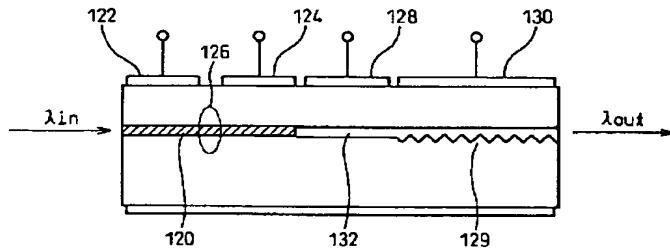
【図 5 3】



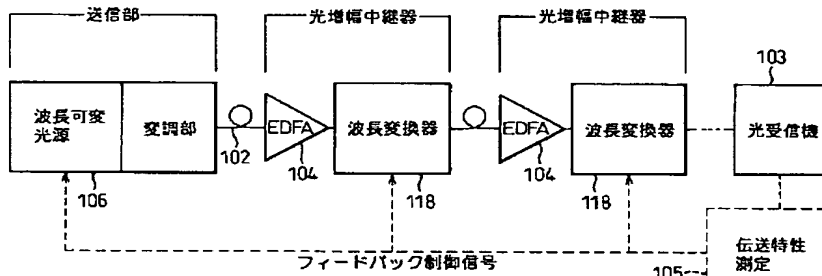
【図 5 4】



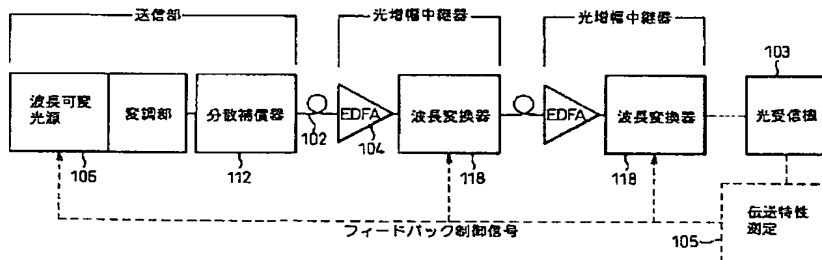
【図55】



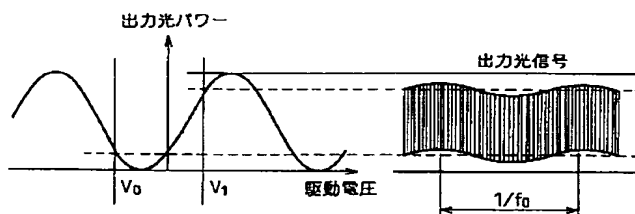
【図56】



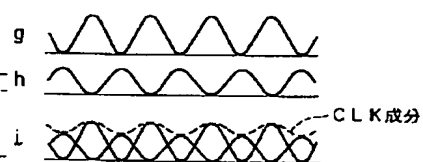
【図57】



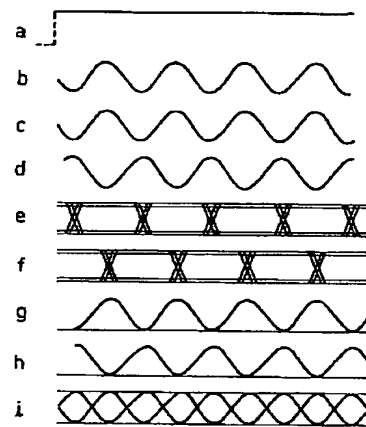
【図59】



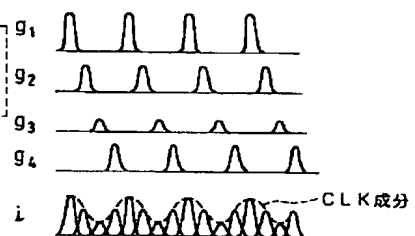
【図72】



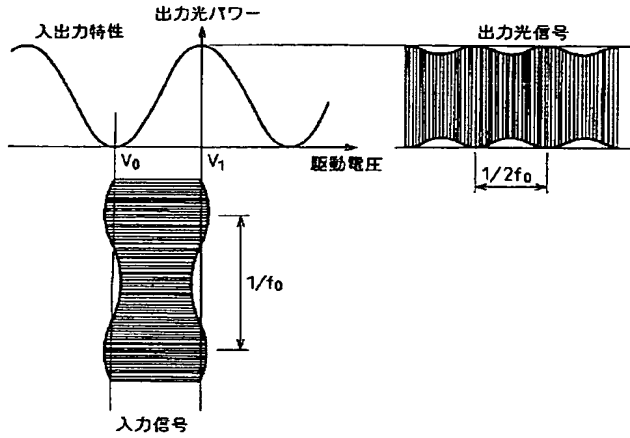
【図71】



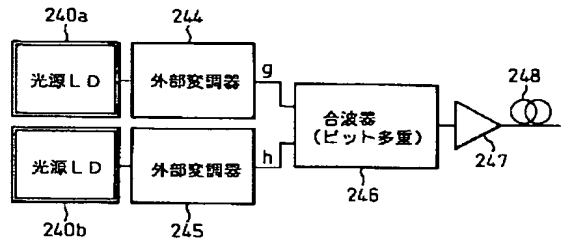
【図73】



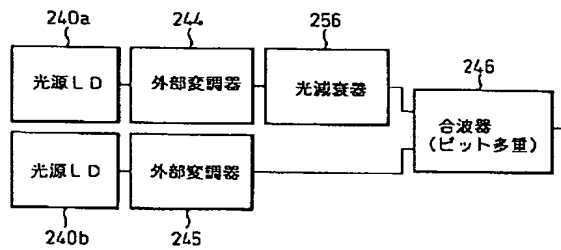
【図58】



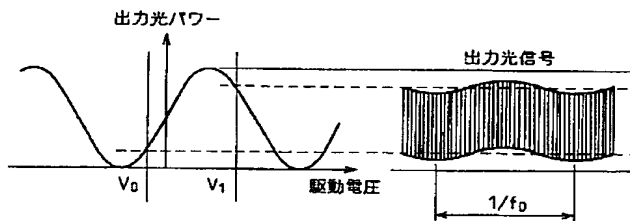
【図74】



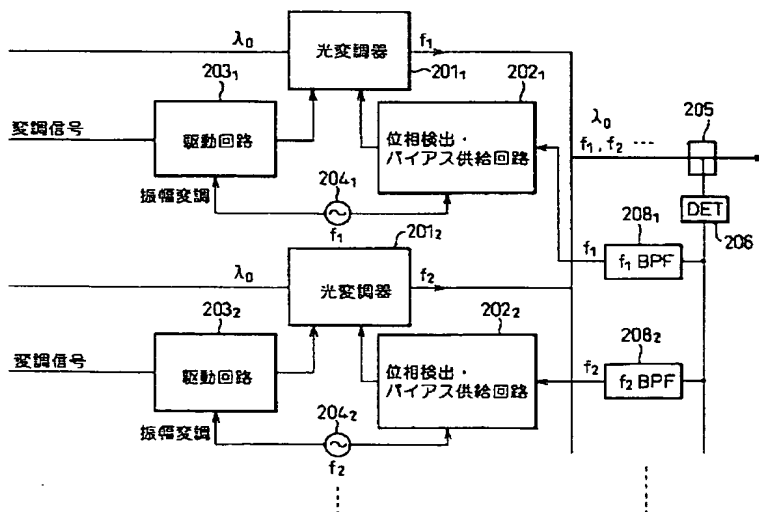
【図75】



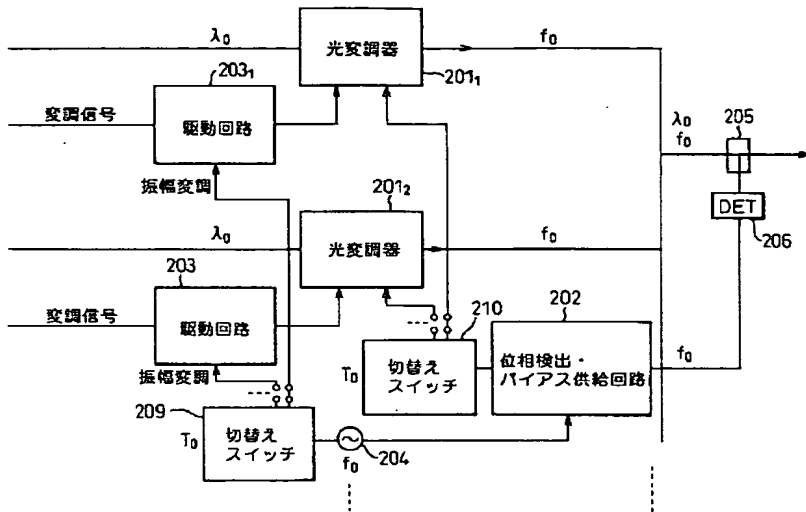
【図60】



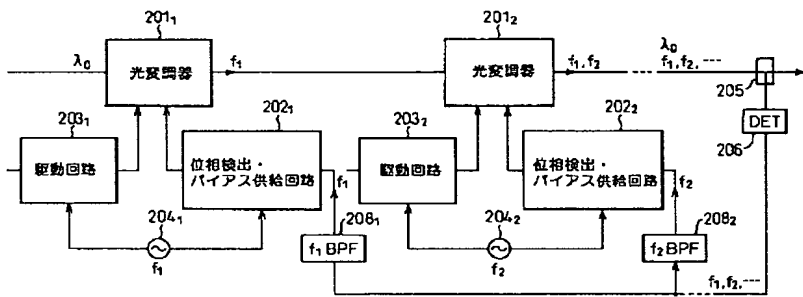
【図61】



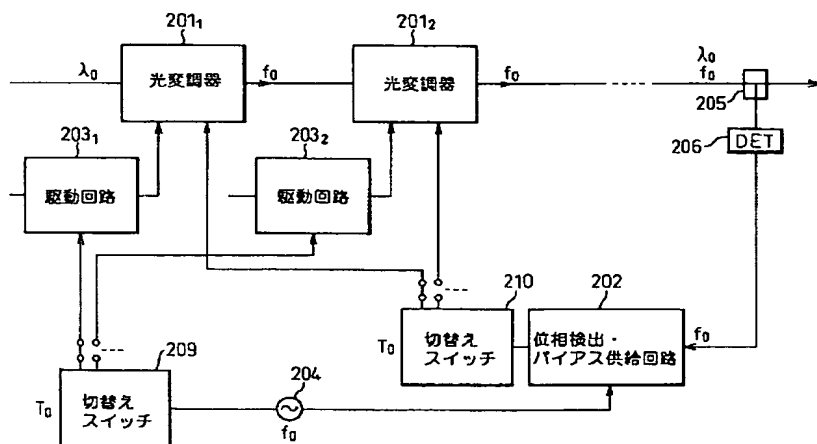
【図 6 2】



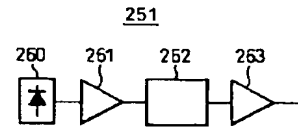
【図 6 3】



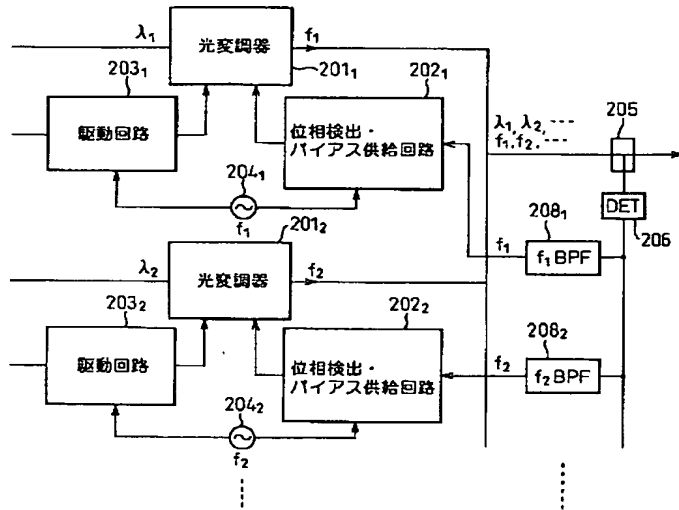
【図 6 4】



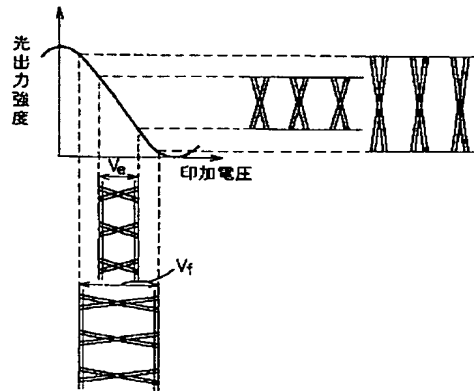
【図 8 2】



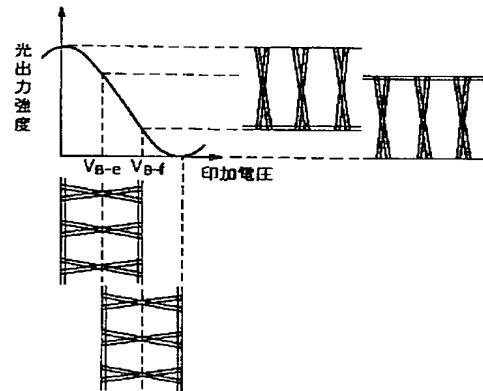
【図 65】



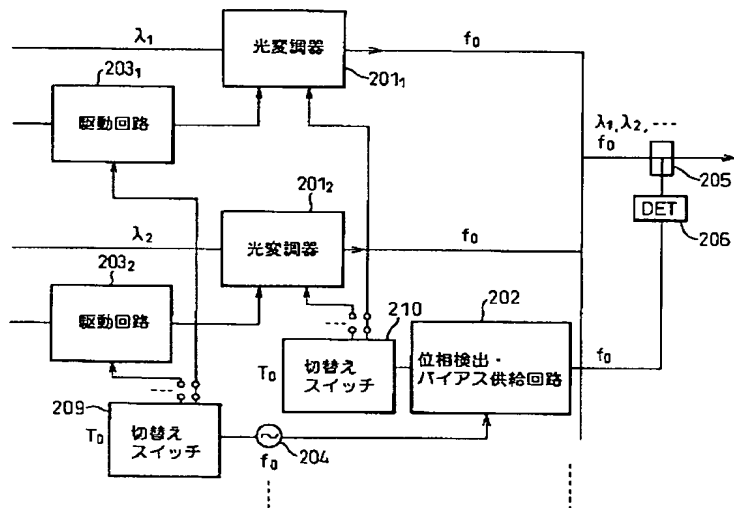
【図 77】



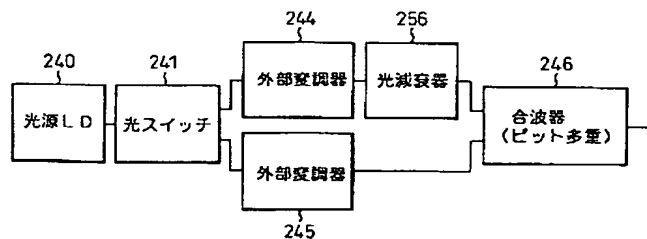
【図 78】



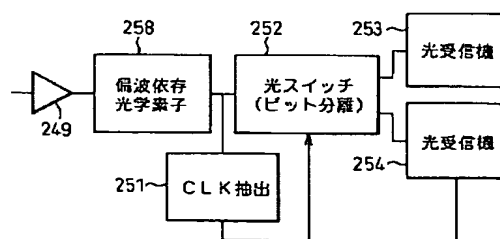
【図 66】



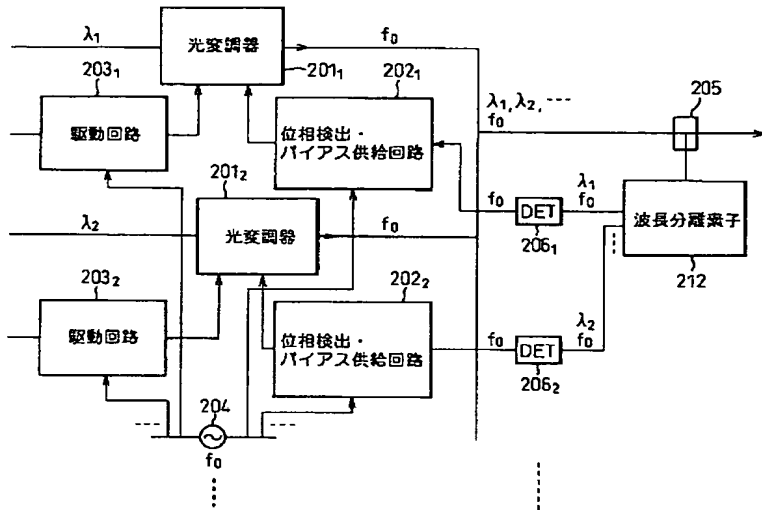
【図 76】



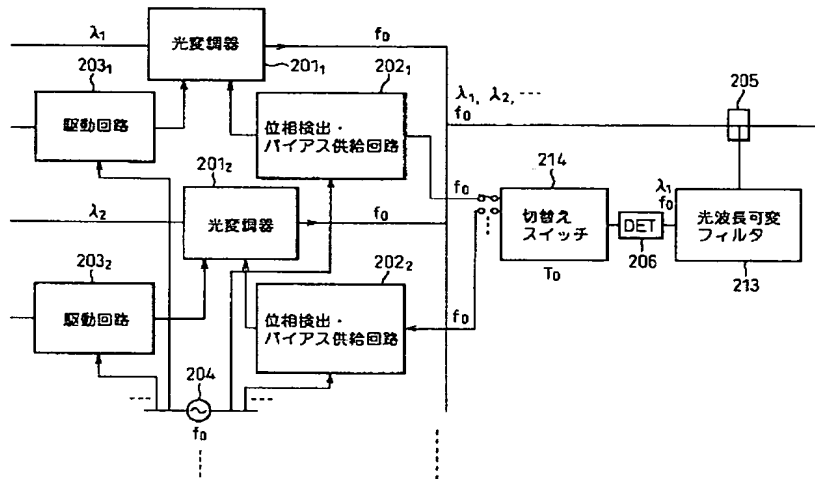
【図 80】



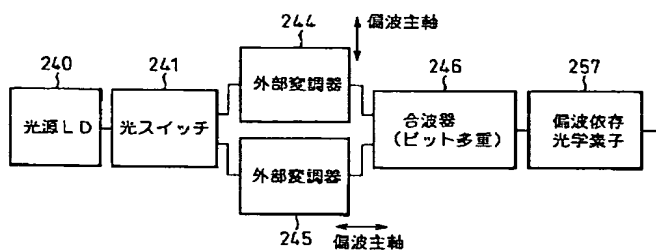
【図 67】



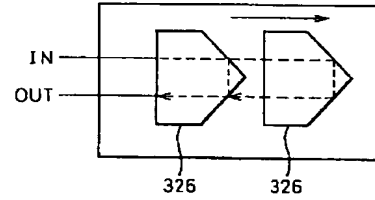
【図 68】



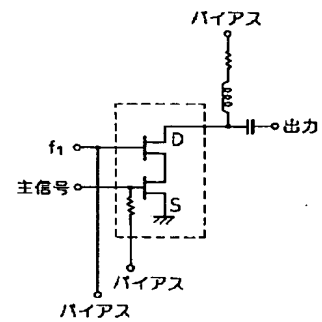
【図 79】



【図 88】

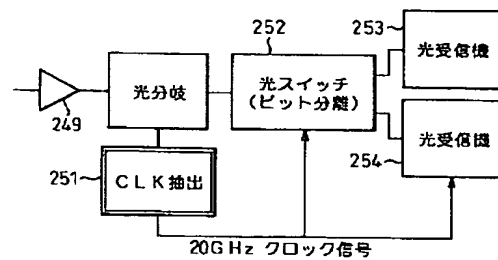


【図 96】

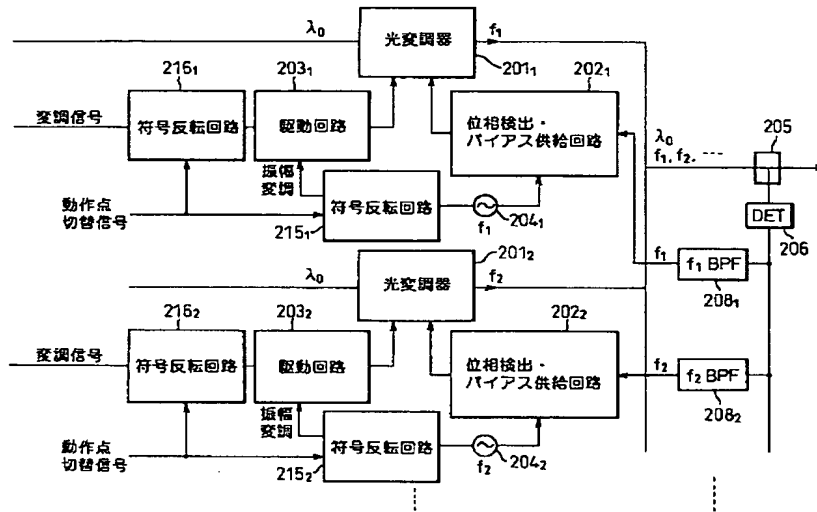


418, 420

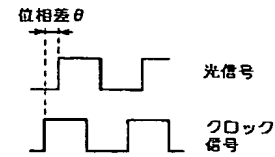
【図 81】



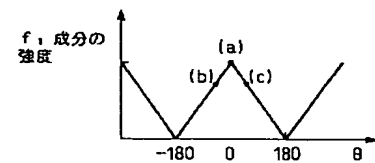
【図 69】



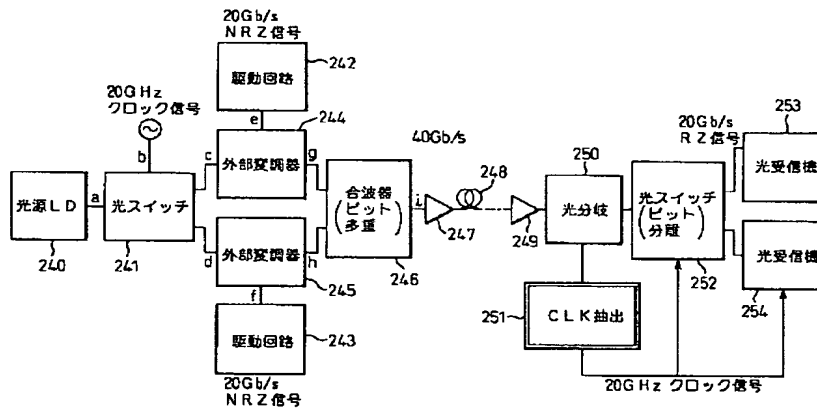
【図 99】



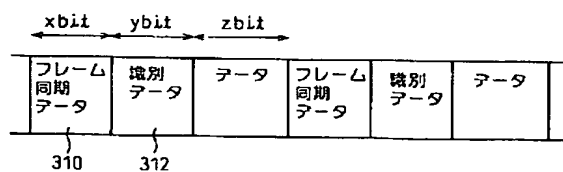
【図 100】



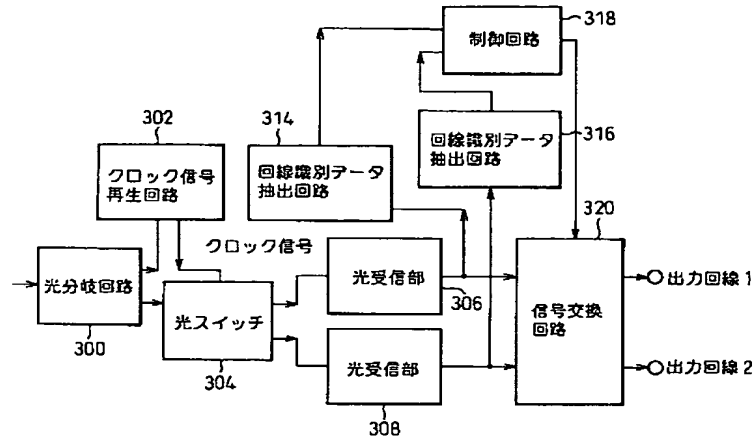
【図 70】



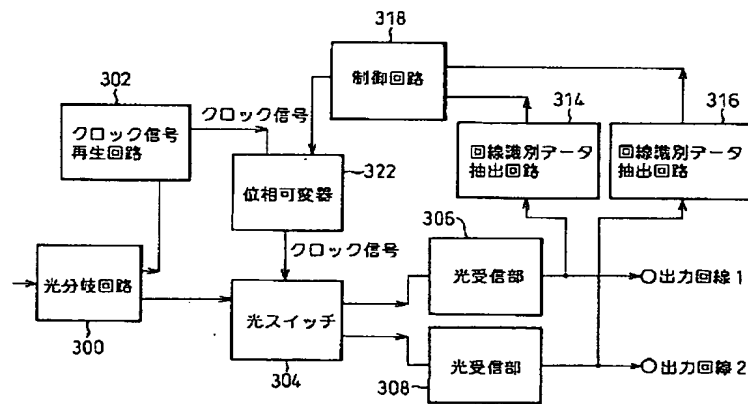
【図 84】



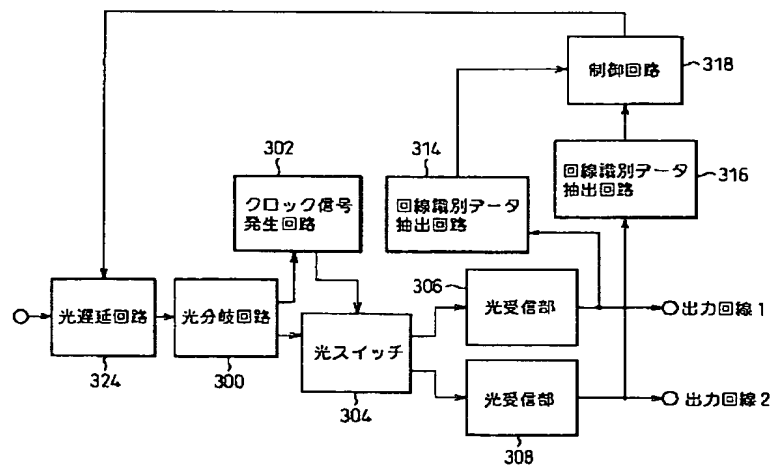
【図 8 3】



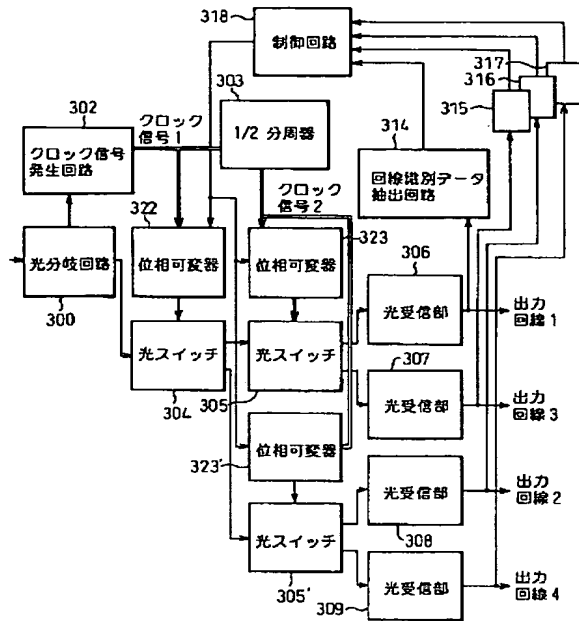
【図 8 5】



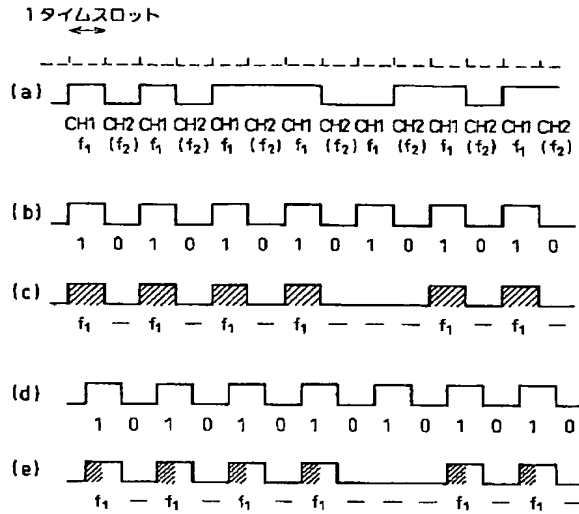
【図 8 7】



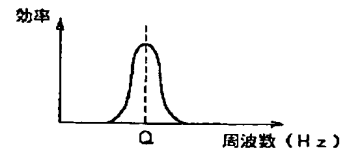
【図 8 6】



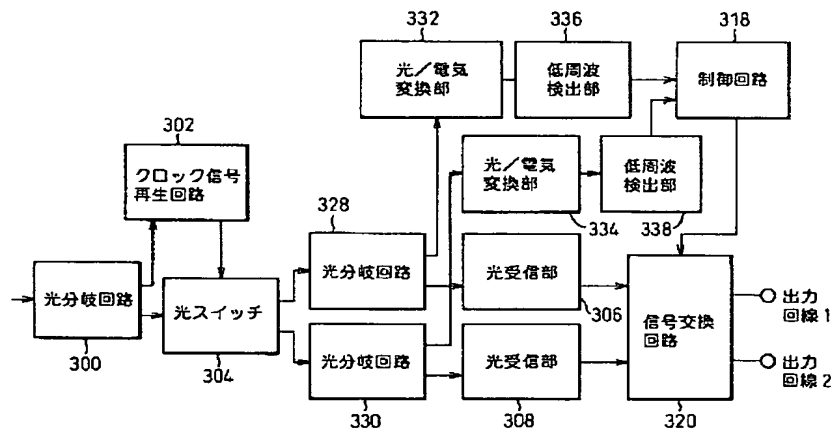
【図 9 8】



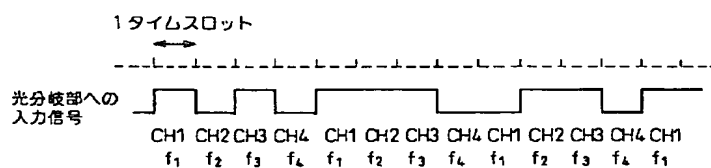
【図 1 0 8】



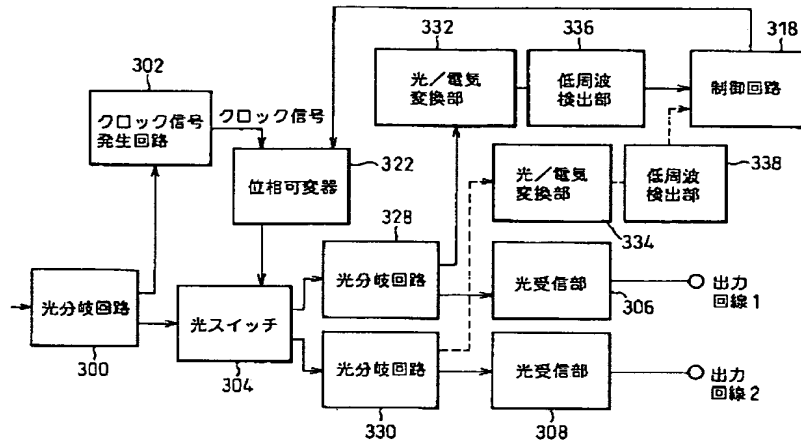
【図 8 9】



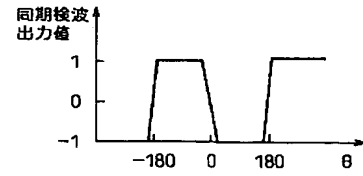
【図 9 0】



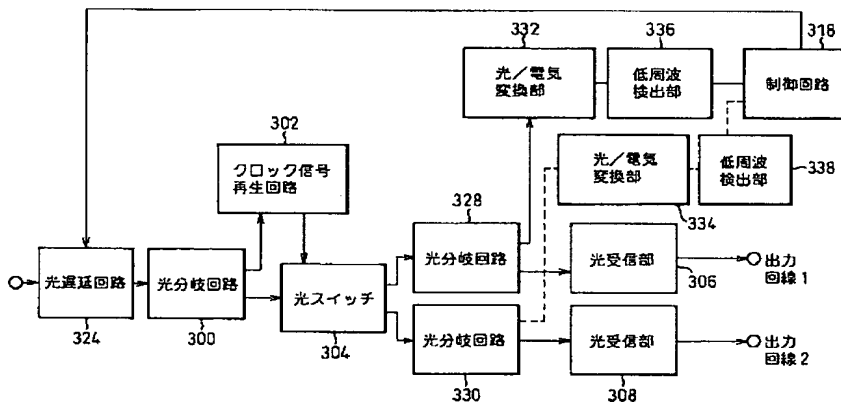
【図9 1】



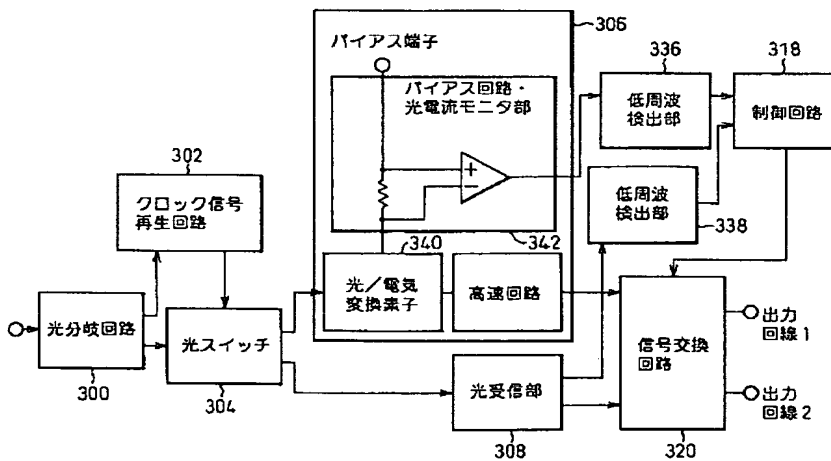
【図112】



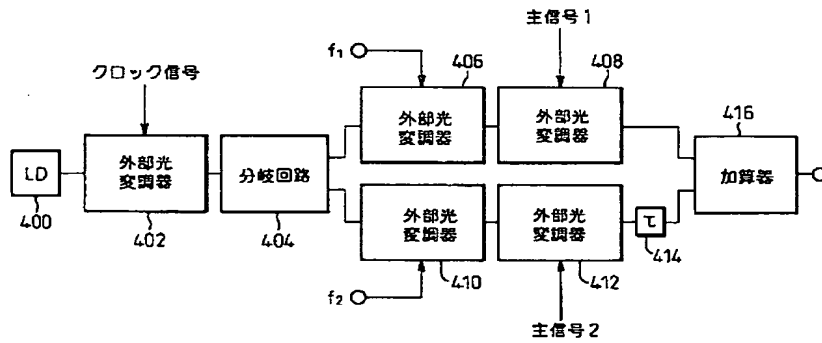
【図9 2】



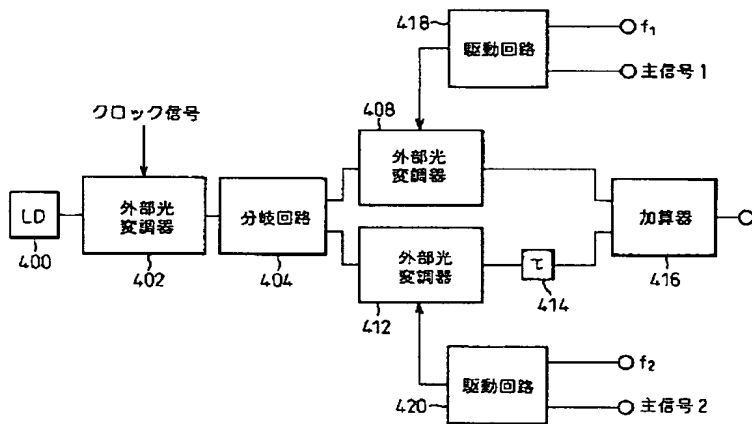
【図9 3】



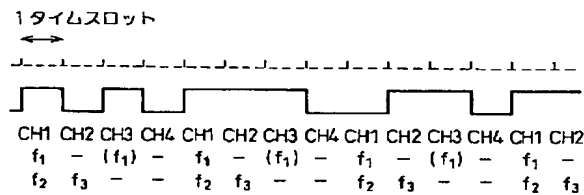
【図94】



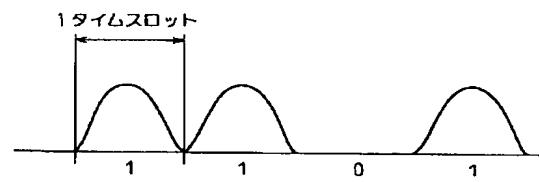
【図95】



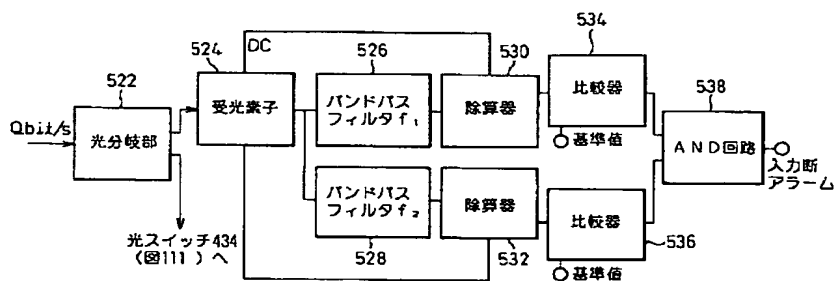
【図104】



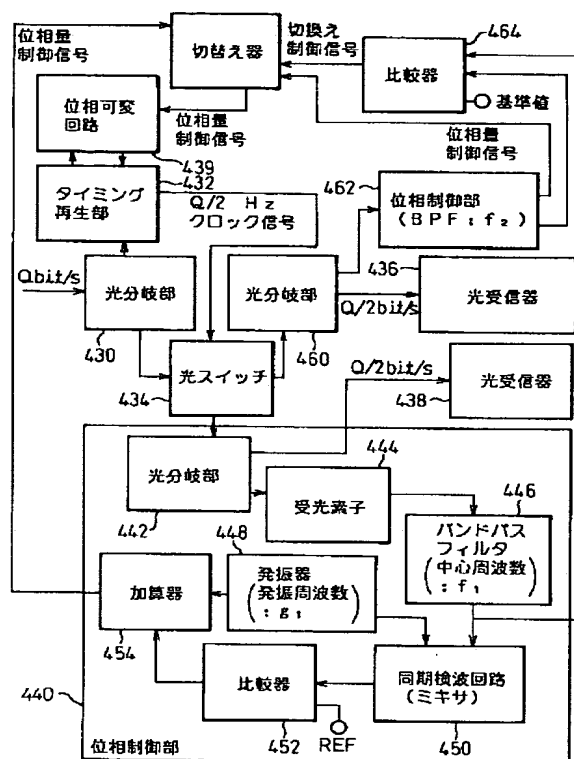
【図107】



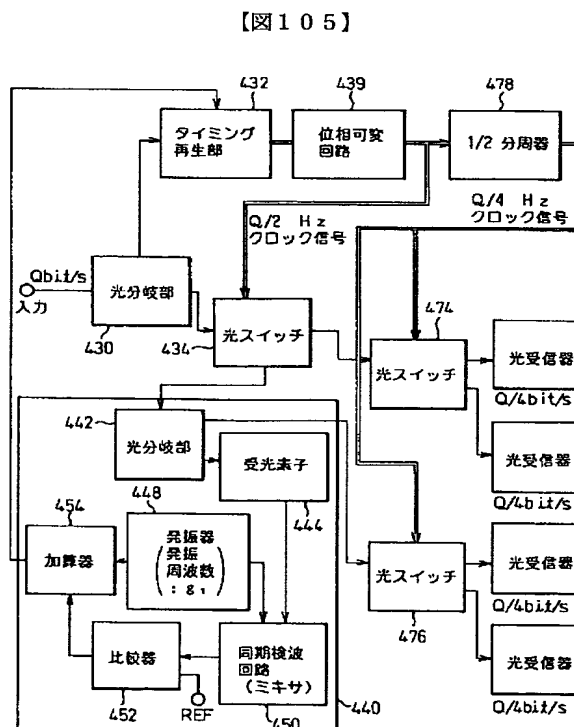
【図113】



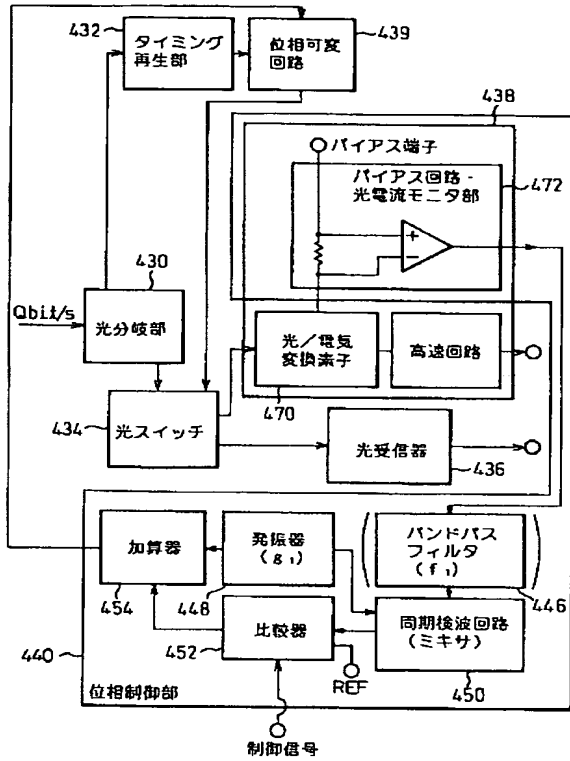
【図 101】



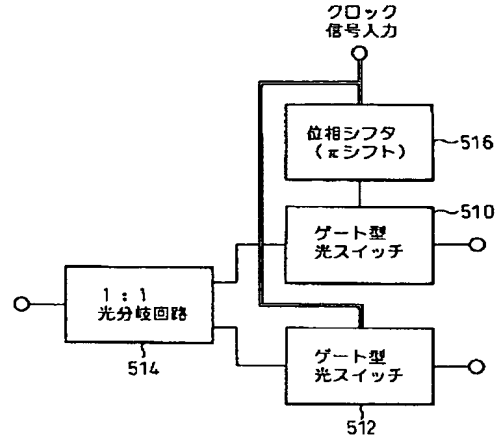
【図 103】



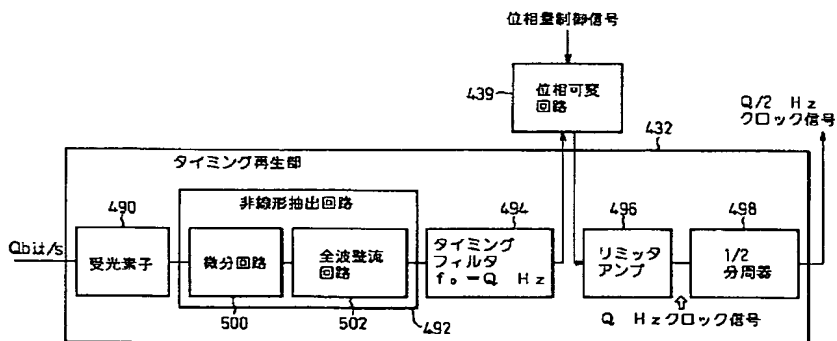
【図102】



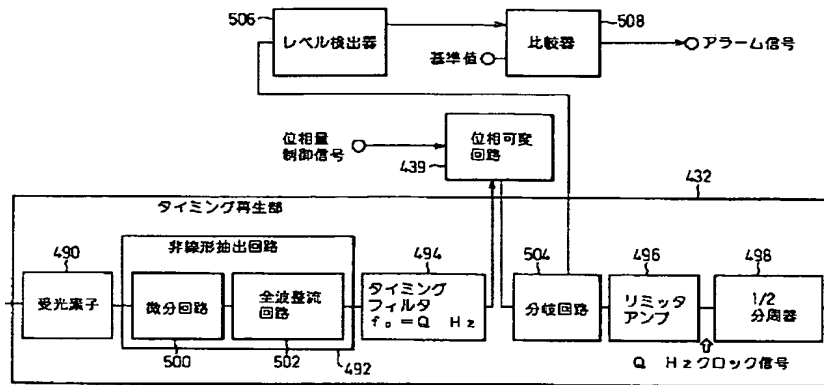
【図110】



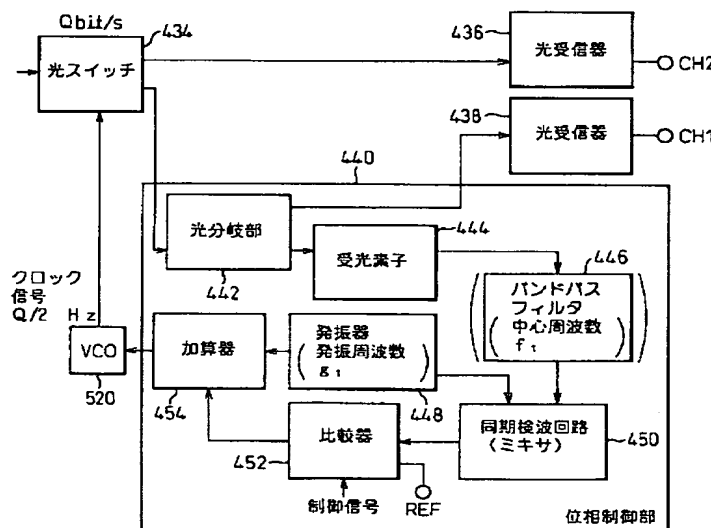
【図106】



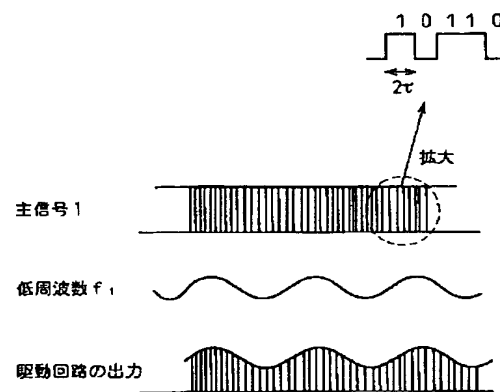
【図109】



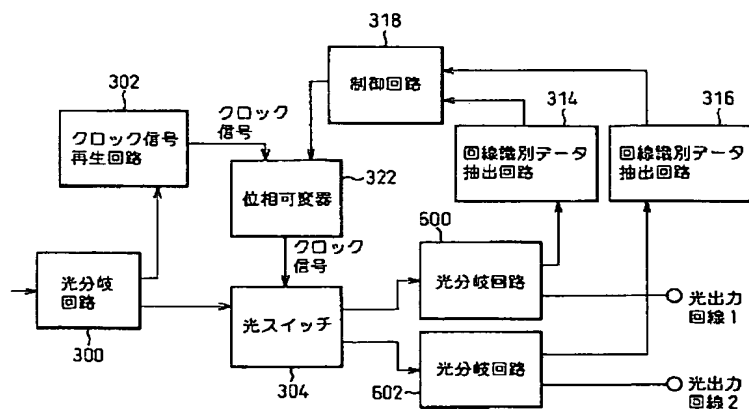
【図111】



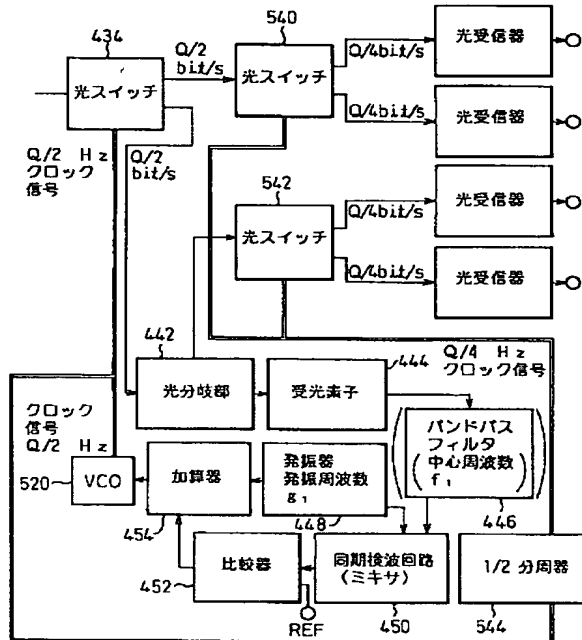
【図120】



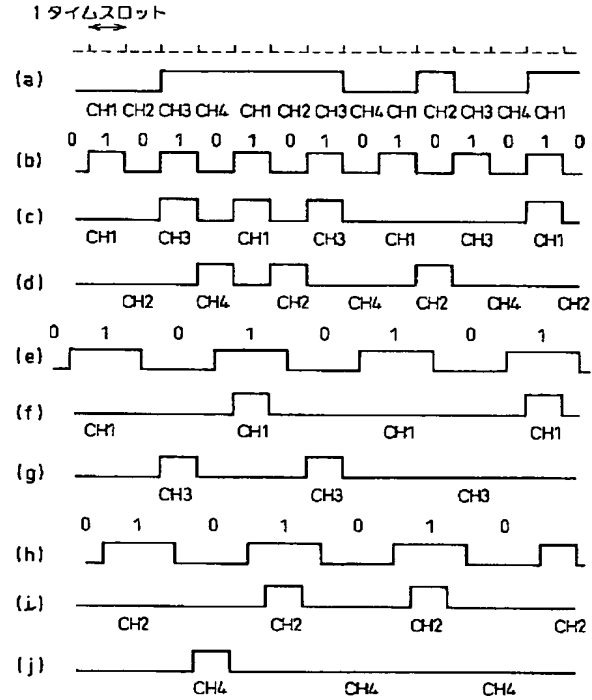
【図116】



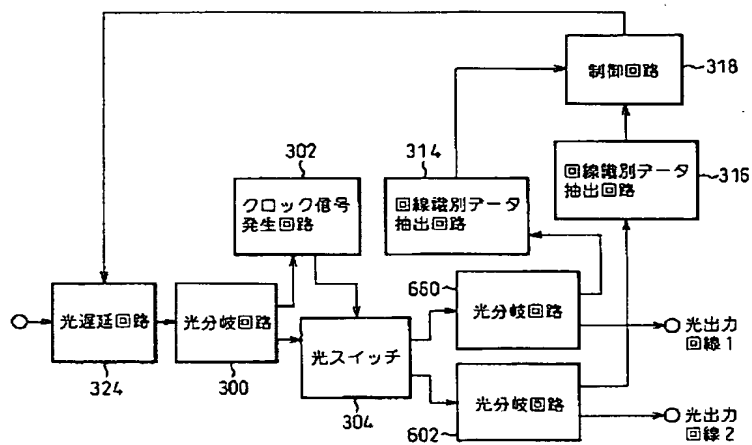
【図 114】



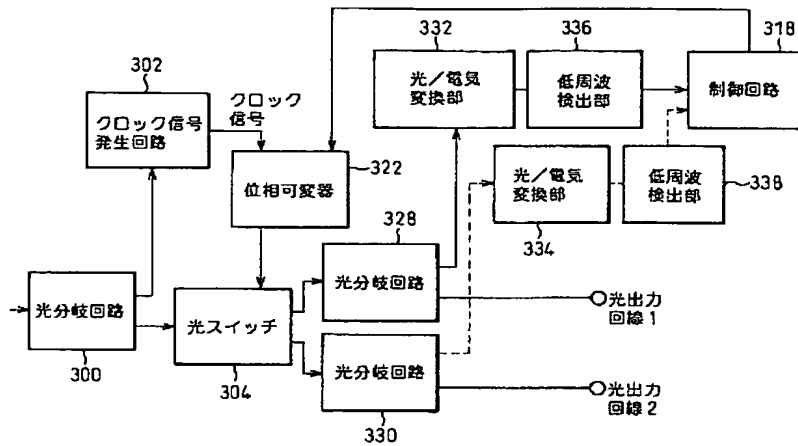
【図 115】



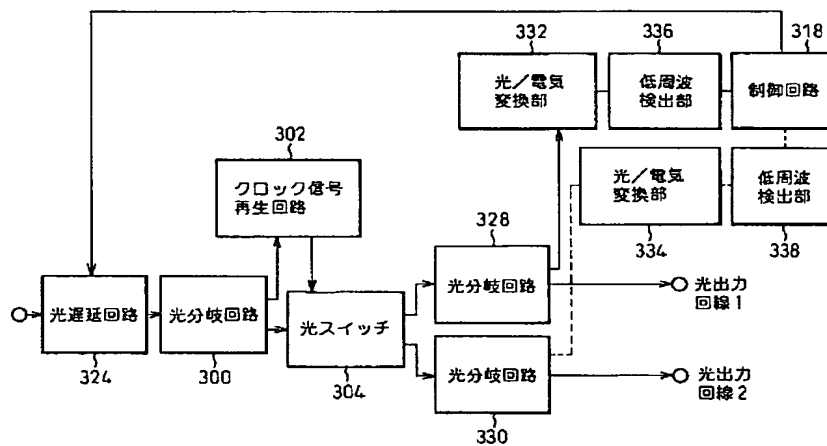
【図 117】



【図 118】



【図 119】



フロントページの続き

(72)発明者 友藤 博朗
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(72)発明者 大井 寛己
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内
(72)発明者 関屋 元義
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内